



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODULO  
DIDÁCTICO PARA EL CONTROL DE NIVEL, CAUDAL DE  
LÍQUIDOS DESTINADO A LA IMPLEMENTACIÓN DE UN  
LABORATORIO DE CONTROL PARA LA UPS.**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO  
MECÁNICO**

**AUTOR: GONZALO GABRIEL BONILLA GARCÍA**

**DIRECTOR: ING. EDWIN IBARRA**

**QUITO, MARZO 2012**

## **DECLARACIÓN**

Yo Gonzalo Gabriel Bonilla García, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y que ha sido consultado en las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

## CERTIFICADO

Yo, certifico que el presente proyecto de tesis titulado “Diseño y construcción de un modulo didáctico para el control de nivel, caudal de líquidos destinado a la implementación de un laboratorio de control para la ups.” realizado para la obtención del título de ingeniero mecánico ha sido desarrollado en su totalidad por el Sr. Gonzalo Gabriel Bonilla García.

Atentamente,

Ing. Edwin Ibarra

Director de Tesis

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi madre Magali García que tan arduamente me ha inculcado desde pequeño que el esfuerzo de las personas tiene sus frutos, gracias por ser esa persona que siempre extraño y que con tu amor nos llenas de fortaleza para continuar; a mi padre Gonzalo Bonilla que con su carácter y tenacidad me ha enseñado lo duro que puede ser el separar a la familia para que sus hijos busque un mejor futuro; a mis hermanas María José Bonilla y Cindy Bonilla que me han soportado siempre y que siguen conmigo en las buenas y las malas.

Gonzalo Gabriel Bonilla García.

## **DEDICATORIA**

Dedico entonces este esfuerzo de muchos años a Dios, a mi familia que con esfuerzo han sostenido mis estudios y los de mis hermanas y están ahí siempre con una llamada o una sonrisa.

Mamá, Papá esto es por ustedes y por mi familia.

## ÍNDICE

CARATULA.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
CERTIFICADO.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
ÍNDICE.....	vi
RESUMEN.....	xi
PRESENTACIÓN.....	xii
OBJETIVOS.....	xiii

## CAPITULO 1

1. CONCEPTOS BÁSICOS.....	2
1.1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LÍQUIDOS.....	2
1.1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.2 PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS.....	3
1.1.2.1 Densidad.....	3
1.1.2.2 Presión.....	3
1.1.2.3 Flujo.....	5
1.1.2.4 Viscosidad.....	6
1.1.2.5 Cavitación.....	6
1.2 SISTEMAS DE CONTROL.....	6
1.2.1 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	7
1.2.1.1 Señal de salida.....	7
1.2.1.2 Señal de Referencia.....	7
1.2.1.3 Error.....	7
1.2.1.4 Señal de control.....	8
1.2.1.5 Señal analógica.....	8
1.2.1.6 Señal digital.....	8
1.2.1.7 Conversor analógico/digital.....	8
1.2.1.8 Conversor digital/analógico.....	8
1.2.1.9 Planta.....	8
1.2.1.10 Proceso.....	8
1.2.1.11 Sistema.....	9
1.2.1.12 Perturbación.....	9
1.2.1.13 Sensor.....	9
1.2.1.14 Sistema de Control en Lazo Cerrado.....	9
1.2.1.15 Sistema de Control en Lazo Abierto.....	9
1.2.2 ELEM. BÁSICOS DE UN SIST. DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	10
1.3 MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS.....	10
1.3.1 MEDIDORES DE NIVEL DE LÍQUIDOS.....	11
1.3.1.1 Instrumentos de medida directa.....	11
1.3.1.1.1 Medidor de nivel por sonda.....	11
1.3.1.1.2 Método de la Columna de Vidrio.....	12
1.3.1.2 Instrumentos de medida por presión hidrostática.....	13
1.3.1.2.1 Método manométrico.....	13
1.3.1.2.2 Método sensor de nivel por membrana.....	14
1.3.1.2.3 Método por burbujeo.....	15
1.3.1.2.4 Método de presión diferencial.....	16

1.3.1.3 Instrumentos de medida por desplazamiento.....	17
1.3.1.3.1 Método del flotador.....	17
1.3.1.4 Instrum. de medida por caract. eléctricas del líquido.....	19
1.3.1.4.1 Método resistivo o conductivo .....	19
1.3.1.4.2 Método capacitivo.....	21
1.3.1.4.3 Método de ultrasonido .....	22
1.3.1.4.4 Métodos sensores nucleares.....	24
1.4 VÁLVULAS DE CONTROL PARA FLUIDOS .....	25
1.4.1 DEFINICIÓN.....	25
1.4.2 TIPOS DE VÁLVULAS.....	26
1.4.2.1 Válvulas de Compuerta .....	26
1.4.2.2 Válvulas de Macho .....	27
1.4.2.3 Válvulas de Globo .....	28
1.4.2.4 Válvulas de Bola.....	28
1.4.2.5 Válvulas de Mariposa .....	29
1.4.2.6 Válvula de Diafragma .....	30
1.4.2.7 Válvulas de Apriete .....	31
1.4.2.8 Válvulas unidireccionales (check) y de desahogo (alivio) .....	32
1.4.3 COMPORT. DEL FLUIDO EN UNA VÁLV. DE CONTROL.....	34
1.4.4 SERVOVÁLVULAS.....	35
1.4.4.1 Actuadores .....	36
1.4.4.1.1 Actuadores Neumáticos .....	36
1.4.4.1.2 Actuadores Hidráulicos.....	37
1.4.4.1.3 Actuadores Eléctricos.....	38
1.5 PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE) .....	39
1.5.1 CONCEPTOS BÁSICOS.....	39
1.5.2 ESTRUCTURA EXTERNA.....	40
1.5.3 ESTRUCTURA INTERNA .....	41
1.5.4 CAMPOS DE APLICACIÓN .....	43
1.5.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES.....	44
1.5.6 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN .....	44
1.5.6.1 Graneos Secuenciales de Funciones ( SFC).....	44
1.5.6.2 Lista de Instrucciones.....	45
1.5.6.3 Diagrama de Contactos.....	46
1.5.6.4 Bloques de Funciones (FB).....	46
1.6 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	47
1.6.1 SISTEMAS SCADA.....	47
1.6.1.1 Requisitos de un SCADA .....	48
1.6.1.2 Componentes de un Sistema SCADA.....	48
1.6.2 INTERFAZ HOMBRE MAQUINA HMI.....	48
<b>CAPITULO 2</b>	
2 CONSTRUCCIÓN DEL MODULO .....	51
2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO .....	51
2.1. Esquema:.....	52
2.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS .....	53
2.3 MODOS DE OPERACIÓN.....	53
2.3.1 Modo Manual – Panel Virtual.....	53
2.3.2 Modo Manual- PC.....	54
2.3.3 Modo Automático – Panel.....	55
2.3.4 Modo Automático-PC.....	55

2.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO .....	56
2.4.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE .....	56
2.4.2 SENSOR DE NIVEL .....	59
2.4.2.1 Cálculo de las características del sensor .....	59
2.4.2.2 Manejo de la señal de salida del sensor .....	62
2.4.3 BOMBA.....	62
2.4.4 VÁLVULA DE CONTROL .....	64
2.4.4.1 Válvula .....	64
2.4.4.2 Actuador .....	66
2.4.5 ESTRUCTURA DEL MÓDULO.....	69
2.4.5.1 TUBERÍAS Y TANQUES .....	70
2.4.6 TABLERO DE CONTROL.....	74
2.4.7 MANEJO DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS DEL PLC.....	75
2.5 CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL TABLERO DE CONTROL .....	76
<b>CAPITULO 3</b>	
3. DESARROLLO DEL SOFTWARE .....	80
3.1. INTOUCH.....	80
3.1.1 COMPONENTES PRINCIPALES .....	80
3.1.1.1 Intouch Application Manager .....	80
3.1.1.2 Window Maker .....	81
3.1.1.3 Window Viewer .....	81
3.1.2 CARACTERÍSTICAS .....	81
3.1.3 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE SISTEMA.....	82
3.1.4 INICIANDO INTOUCH .....	82
3.1.4.1 Creación de una nueva aplicación.....	83
3.1.4.2 Edición una nueva aplicación .....	83
3.1.4.3 Creación de Ventanas .....	85
3.1.4.4 Creación de Objetos Gráficos.....	88
3.1.4.4.1 Draw Object Toolbar .....	88
3.1.4.4.2 View Toolbar .....	88
3.1.4.4.3 General Toolbar .....	89
3.1.4.4.4 Formal Toolbar .....	89
3.1.4.4.5 Arrange Toolbar .....	89
3.1.4.4.6 Wizards/Active X Toolbar.....	90
3.1.4.5 Tagnames.....	92
3.1.4.5.1 Memory Tagnames .....	93
3.1.4.5.2 I/O Tagnames .....	93
3.1.4.5.3 Miscellaneous Tagnames .....	94
3.1.4.5.4 Creación de un tagname para la aplicación.....	94
3.1.4.6 Creación de Animation Links .....	95
3.2 DISEÑO DE VENTANAS PARA EL HMI DEL MÓDULO .....	96
3.2.1 PRESENTACIÓN .....	96
3.2.2 CONTRASEÑA.....	98
3.2.3 PROCESO.....	98
3.2.3.1 Botón Automático .....	99
3.2.3.1.1 Mensajes de Texto .....	100
3.2.3.1.2 Fijar Setpoint.....	101
3.2.3.1.3 Botón Gráficas .....	101
3.2.3.1.4 Botón Históricos.....	103
3.2.3.1.5 Botón Alarmas y Eventos.....	107



3.2.3.1.6 Window Type .....	108
3.2.3.2 Botón Manual.....	110
3.3 COMUNICACIÓN PLC – INTOUCH .....	111
3.3.1 CONFIGURACIÓN DEL I/O SERVER.....	112
3.3.1.1 Configuración del Puerto de Comunicaciones.....	113
3.3.1.2 Configuración del topic .....	114
3.3.2 CONFIGURACIÓN DE ÍTEMS EN INTOUCH .....	115
3.4 TWIDO SUITE .....	117
3.4.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES .....	117
3.4.2 CREACIÓN DE UN PROYECTO.....	118
3.4.3 CONFIGURACIÓN DE UNA RED MODBUS: .....	119
3.4.4 CREAR UN PROYECTO NUEVO: .....	122
3.4.4.1 Navegación por el espacio de trabajo de TwidoSuite ...	123
3.5 DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC .....	126
3.5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	126
3.5.2 SOLUCIÓN PROPUESTA.....	126
3.5.2.1 Descripción del programa para el PLC .....	127
3.5.2.1.1 Sección Seteo Modos De Operación .....	127
3.5.2.1.2 Sección ESTADO .....	127
3.5.2.1.3 Sección MANUAL .....	128
3.5.2.1.4 Sección BOMBA .....	129
3.5.2.1.5 Sección de NIVEL CONTINUO.....	129
3.5.2.1.6 Sección SERVÓVULA .....	129
3.5.2.1.7 Sección AUTOMÁTICO .....	130
<b>CAPITULO 4</b>	
4 PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL.....	135
4.1 PUESTA EN MARCHA DEL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL..	135
4.1.1 PROGRAMACIÓN DEL PLC .....	137
4.1.2 INSTALACIÓN DEL PLC.....	139
4.1.3 PUESTA EN MARCHA DEL MÓDULO .....	140
4.1.4 INICIO DE COMUNICACIÓN PLC-PC .....	141
4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO .....	143
4.2.1 PRUEBAS BOMBA.....	143
4.2.2 PRUEBAS SENSOR .....	144
4.2.3 PRUEBAS VÁLVULA DE CONTROL .....	147
4.2.3.1 Pruebas de Posicionamiento del vástago.....	147
4.2.3.2 Pruebas de caudal de salida en la válvula.....	148
4.2.4 PRUEBAS MODO AUTOMÁTICO.....	152
<b>CAPITULO 5</b>	
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	157
5.1 CONCLUSIONES .....	157
5.2 RECOMENDACIONES.....	158
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	160
<b>ANEXOS:</b> .....	162
<b>ANEXO 2.1</b>	
DATOS TÉCNICOS DE LOS PLC'S: PLC MODULAR TELEMECANIQUE TWIDO TWDLMDA20DRT Y PLC ANALÓGICO TELEMECANIQUE TWIDO TWDAMM3HT	

**ANEXO 2.2**

DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL SXC01DN

**ANEXO 2.3**

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS BOMBAS

**ANEXO 2.4**

DATOS TÉCNICOS DE LA VÁLVULA DE BOLA DE DOS PIEZAS DEL FABRICANTE CRANE PN25

**ANEXO 2.5**

CALCULO DIMENSIONAL DE ENGRANAJES

**ANEXO 2.6**

DATOS TÉCNICOS DEL ACTUADOR

**ANEXO 2.7**

PLANOS DE LA ESTRUCTURA Y PLANOS ELÉCTRICOS

**ANEXO 3.1**

PROGRAMA COMPLETO DEL PLC

**ANEXO 4.1**

CALCULO DE CAUDAL PROMEDIO



# UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

## RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene por objetivo el diseño y la construcción de un módulo didáctico para el control de nivel de líquidos destinado a la implementación de un Laboratorio de Procesos Industriales para la Materia de Teoría de Control. El modulo esta diseñado para la realización de prácticas de laboratorio que permitan la capacitación del estudiante en el control de procesos y que pueda observar las curvas de estabilización del sistema.

El Módulo de Control de Nivel de Líquidos permite realizar acciones de control sobre la variable nivel en un tanque principal por medio de una válvula de control ubicada a la salida de este; y de una bomba que suministra líquido desde un tanque de almacenamiento. La válvula de control está construida de una válvula de bola en el cual un vástago está acoplado a una caja reductora y cuyo motor es un actuador acoplado al sistema y que permite la apertura y cierre de la circulación del líquido.

El nivel de líquido en el tanque se determina a través de un sensor de presión diferencial integrado para gases, el que por medio de una manguera llena de aire que registra la presión de la columna de líquido y proporciona una salida continua que representa el nivel de liquido en el tanque.

El módulo ha sido diseñado para operar en modo manual, en el que se tiene un control individual sobre cada parte del equipo; ó automático el que requiere el ingreso de un setpoint de nivel deseado a fin de que se realicen las acciones de control. El ingreso de los parámetros se lo puede realizar desde el computador por medio de una interfaz grafica desarrollada con el software INTOUCH con el cual se realiza la supervisión y adquisición de datos.

## **PRESENTACIÓN**

El presente proyecto está estructurado como se indica a continuación:

El capítulo 1 contiene la base teórica sobre las diferentes técnicas para medir nivel y el principio de funcionamiento y aplicaciones de los diferentes caudalímetros para líquidos. Se mencionan conceptos generales sobre los PLC's y sobre las características de las válvulas para control de fluidos. También se exponen conceptos generales sobre las interfaces Hombre-Máquina (HMI).

El capítulo 2 describe el diseño y la construcción del módulo. Se hace un estudio más detallado del sensor de presión diferencial, de la bomba, de la servoválvula de control, del PLC Telemecanique twido TWDLMDA20DRT y sus respectivos módulos de entradas y salidas análogas. Además se incluyen diagramas de conexiones eléctricas.

El capítulo 3 contiene todo el desarrollo del software implementado para hacer funcionar el módulo, dando una breve explicación sobre los diferentes entornos de desarrollo como son ModBus para el PLC, e INTOUCH para la programación del HMI.

El capítulo 4 corresponde a las pruebas y los resultados obtenidos al poner en funcionamiento al módulo. Se realizan pruebas al sensor, actuador y a los diferentes tipos de control como son el control On-Off con histéresis.

Finalmente, en el capítulo 5 se mencionan las conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron a lo largo del proyecto.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general:**

- Diseñar y construir un módulo didáctico de control de nivel y caudal de líquidos destinado a la implementación de un laboratorio de control para la UPS.

### **Objetivos específicos:**

- Reconocer los sistemas básicos de una interfaz grafica y su aplicación con el control de nivel.
- Verificar la correcta construcción del módulo a implementarse.
- Comprobar el beneficio que representó la implementación de este módulo didáctico en la materia de Teoría de Control.
- Analizar la dificultad de operación del módulo didáctico y la interacción con el usuario.
- Examinar los datos obtenidos en base a las variables ingresadas.

# **CAPITULO 1**

## **CONCEPTOS BÁSICOS**

## CAPITULO 1

### 1. CONCEPTOS BÁSICOS

#### 1.1.CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LÍQUIDOS

##### 1.1.1 INTRODUCCIÓN

Los estados de la materia en conjunto pueden dividirse de forma conveniente en sólidos y fluidos. Los sólidos tienden a comportarse rígidamente y a mantener su forma mientras que un fluido es una sustancia que puede fluir.

Entre los fluidos debemos incluir tanto los líquidos, que fluyen bajo la acción de la gravedad hasta que ocupan las regiones más bajas posibles de los recipientes que los contienen, y los gases que se expanden hasta llenar por completo los recipientes cualquiera que sea su forma.

Los líquidos se caracterizan por poseer un volumen determinado, lo que significa que aunque cambie su forma las distancias entre sus moléculas permanecerán fijas debido a las fuerzas de cohesión que actúan sobre ellas.

Los líquidos son muy poco compresibles y ofrecen gran resistencia a la disminución de su volumen, por lo tanto es muy difícil cambiar las distancias intermoleculares, dicha propiedad es de gran importancia ya que permite que los líquidos sean de gran utilidad en varias aplicaciones industriales.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> ING. JUAN GILBERTO MATEOS SUÁREZ,(1996),  
[<http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/nivel1.htm>], **Medición de Nivel de Líquidos (1996)**, México

## 1.1.2 PROPIEDADES DE LOS LÍQUIDOS

### 1.1.2.1 Densidad

Es una propiedad intrínseca de los materiales, la densidad de un líquido homogéneo es su masa dividida entre su volumen (Ecuación 1.1), y puede depender de muchos factores tales como presión y temperatura, pero se la considera constante en grandes intervalos de cambio de dichas variables.<sup>2</sup>

$$\text{Densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}} = \frac{m}{V} = d$$

**Ecuación 1.1**

Como originalmente el gramo fue elegido para que fuese igual a la masa de 1 cm<sup>3</sup> de agua, la densidad del agua en el Sistema CGS es igual a 1 g/cm<sup>3</sup>, correspondiente a 10<sup>3</sup> Kg/m<sup>3</sup> en el Sistema Internacional de Medida (SI).

La densidad específica de una sustancia es un valor adimensional que corresponde al cociente entre su valor de densidad y la densidad del agua.

### 1.1.2.2 Presión

La presión es un tipo de esfuerzo multidireccional y uniforme, una fuerza actuante en una unidad de área ejercida en un punto.

$$\text{Presión} = \frac{\text{Fuerza}}{\text{área}} = \frac{F}{A} = P$$

**Ecuación 1.2**

La unidad de presión en el Sistema Internacional es el Newton por metro cuadrado (N/m<sup>2</sup>), que recibe el nombre de Pascal (Pa)

---

<sup>2</sup> GRATTON, J. (2002). Introducción a La Mecánica De Fluidos. Buenos Aires



La presión ejercida sobre un líquido en reposo debe ser producto de una fuerza dirigida perpendicularmente a la superficie del mismo, un líquido en reposo no puede soportar una fuerza tangencial, ya que, en este caso, unas capas de líquido resbalan unas sobre otras, lo que le permite cambiar su forma o fluir.

La presión ejercida por un líquido en reposo conocida como presión hidrostática, es una presión cuyo valor, en general, varía de un punto a otro del líquido, dicho valor depende directamente de la distancia vertical o desnivel, entre la superficie del líquido y la profundidad a la cual se desea determinar la presión.

La presión hidrostática no es afectada por la forma del recipiente, y es la misma en todos los puntos localizados a la misma profundidad.

En el caso de un líquido como el agua cuya densidad es constante en todo su volumen, la presión aumenta linealmente con la profundidad, esto se puede apreciar de una manera sencilla en la Figura 1.1, en la que se considera una columna de líquido de altura  $h$  y área de sección recta  $A$ . La presión en la parte inferior de la columna debe ser mayor que en la superior ya que debe soportar el peso de la columna.<sup>3</sup>

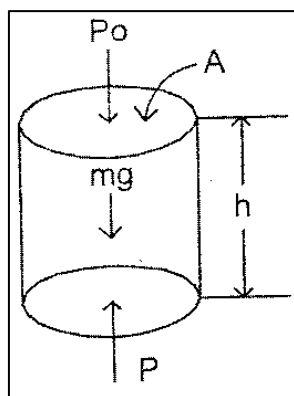


Figura. 1.1 Columna de agua de altura  $h$ , y sección transversal  $A$

De la Ecuación 1.1 tenemos que:  $m = d.V = d.A.h$

Y su peso es:  $p = m.g = d.A.h.g$

**Ecuación 1.3**

---

<sup>3</sup> Ibidem

Si  $P_o$  es la presión ejercida en la parte superior, y  $P$  en la inferior, la fuerza hacia arriba neta ejercida por esta diferencia de presiones es:

$$P \cdot A - P_o \cdot A = d \cdot A \cdot h \cdot g$$

O bien

$$P = P_o + d \cdot h \cdot g \quad \textbf{Ecuación 1.4}$$

Ecuación 1.4 corresponde a la presión ejercida en el interior de un líquido a una profundidad  $h$ .

### 1.1.2.3 Flujo

Se define al flujo como el movimiento de un fluido, la descripción formal del flujo de líquidos se expresa por relaciones entre presión, densidad y velocidad. El flujo de líquidos en general se divide en flujo laminar y turbulento.

En el flujo laminar cada .pequeño volumen de líquido sigue trayectorias paralelas sin girar, a la dirección de las llamadas líneas de flujo (líneas paralelas a la tubería que transporta el flujo), por lo que también se lo llama flujo lineal, mientras que en el flujo turbulento se produce cuando la velocidad del flujo adquiere mayor rapidez que cierta velocidad crítica por lo que se forman remolinos y corrientes en el líquido.

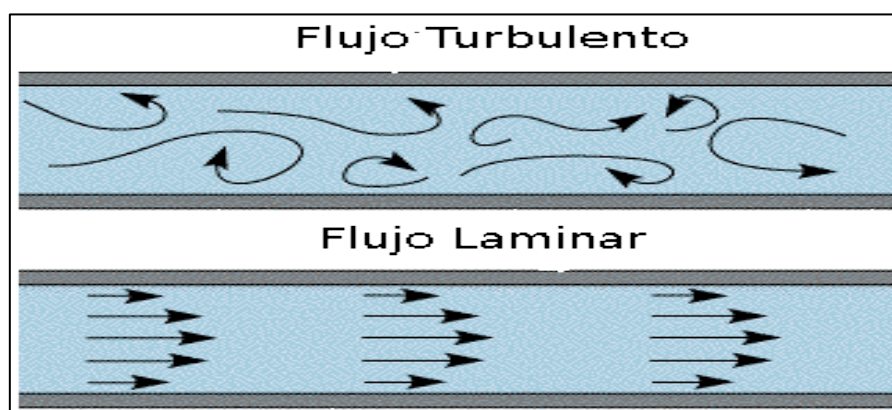


Figura 1.2 Flujos Laminar y Turbulento

Para determinar si un flujo es laminar o turbulento, se debe tomar en cuenta el número de Reynolds, definido mediante la expresión:

$$Re = \frac{\delta v D}{\eta}$$

Dónde:

$\delta$	Densidad del fluido ( $\text{kgm}^{-3}$ )
$\eta$	Coeficiente de viscosidad ( $\text{m.s.kg}^{-1}$ )
$v$	Velocidad media ( $\text{m.s}^{-1}$ )
$D$	Diámetro de la tubería (m)

$Re \geq 12000$  Flujo Turbulento

$Re \leq 2000$  Flujo Laminar

#### 1.1.2.4 Viscosidad

La viscosidad de un líquido es medida por la resistencia al movimiento, a causa de la viscosidad cualquier líquido tendrá una velocidad mayor en el centro de la tubería que lo transporta, que en las partes más alejadas de ella. La viscosidad de los líquidos es un valor muy dependiente de la temperatura.<sup>4</sup>

#### 1.1.2.5 Cavitación

Fenómeno que consiste en la formación de burbujas de aire en la tubería que transporta el fluido debido a cambios de dirección del flujo (codos, válvulas, etc.).

### 1.2 SISTEMAS DE CONTROL

En el control de procesos el objetivo básico es mantener una cierta magnitud constante o controlada, a pesar de cualquier influencia externa adversa.

---

<sup>4</sup> Ibidem

Los Sistemas de Control son los que en definitiva se encargan de mantener cualquier variable dentro de un rango establecido, la acción de control puede realizarse en forma manual es decir por medio de un operador humano, o en forma automática.

### **1.2.1 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO**

El control automático ha jugado un papel vital en el avance de la ciencia y la ingeniería, resulta esencial su uso en la mayoría de los procesos industriales como control de presión, temperatura, humedad, nivel, etc.

En la actualidad y gracias al avance de la tecnología, se han desarrollado sistemas de control digitales con los cuales se logra un funcionamiento óptimo de los procesos industriales.<sup>5</sup>

A continuación se definen alguna terminología básica.

#### **1.2.1.1 Señal de salida**

Es la variable que se desea controlar (posición, velocidad, presión, temperatura, nivel, etc.). También se denomina variable controlada.

#### **1.2.1.2 Señal de Referencia**

Es el valor que se desea que alcance la señal de salida, también es conocida como punto de ajuste o setpoint.

#### **1.2.1.3 Error**

Es la diferencia entre la señal de referencia y la señal de salida real.

---

<sup>5</sup> OGATA, Katsuhiko, "SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO". Prentice Hall. Segunda Edición. México. 1995

#### **1.2.1.4 Señal de control**

Es la señal que produce el controlador para modificar la variable controlada de tal forma que se disminuya o se elimine el error.

#### **1.2.1.5 Señal analógica**

Es una señal continua en el tiempo.

#### **1.2.1.6 Señal digital**

Es una señal que solo toma valores de 1 y 0. Un computador solo envía y/o recibe señales digitales.

#### **1.2.1.7 Conversor analógico/digital**

Es un dispositivo que convierte una señal analógica en una señal digital (1 y 0).

#### **1.2.1.8 Conversor digital/analógico**

Es un dispositivo que convierte una señal digital en una señal analógica (corriente o voltaje).

#### **1.2.1.9 Planta**

Es el conjunto de elementos físicos que se desean controlar. Una Planta puede ser; un motor, un horno, un sistema de disparo, un sistema de navegación, un tanque de combustible, etc.

#### **1.2.1.10 Proceso**

Operación que conduce a un resultado determinado.

#### **1.2.1.11 Sistema**

Consiste en un conjunto de elementos que actúan coordinadamente para realizar un objetivo determinado.

#### **1.2.1.12 Perturbación**

Es una señal que tiende a afectar la salida del sistema, desviándola del valor deseado.

#### **1.2.1.13 Sensor**

Es un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física (presión, flujo, temperatura, etc.) en una señal eléctrica ya sea en forma analógica o digital. También es llamado transductor. Los sensores o transductores analógicos envían, por lo regular, señales normalizadas de 0 a 5 voltios, 0 a 10 voltios o 4 a 20 mA.

#### **1.2.1.14 Sistema de Control en Lazo Cerrado**

Es aquel en el cual continuamente se está monitoreando la señal de salida para compararla con la señal de referencia y calcular la señal de error, la cual a su vez es aplicada al controlador para generar la señal de control y tratar de llevar la señal de salida al valor deseado.

#### **1.2.1.15 Sistema de Control en Lazo Abierto**

En estos sistemas de control la señal de salida no es monitoreada para generar una señal de control.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Ibidem

### 1.2.2 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO

La Figura 1.3 muestra un diagrama de bloques de un Sistema de Control Automático en general.

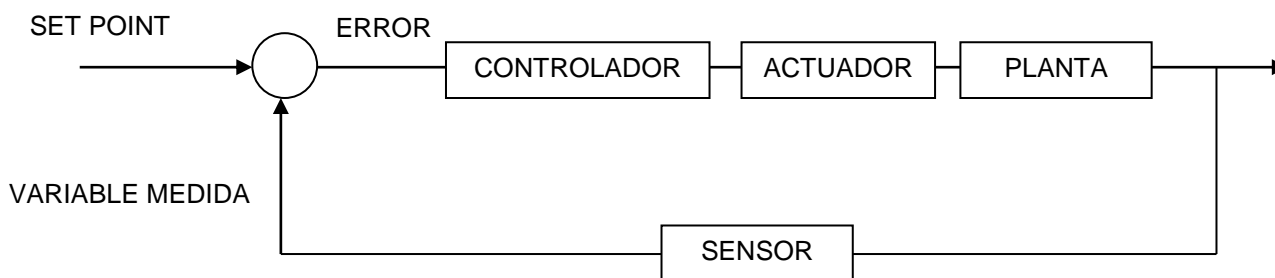


Figura 1.3 Diagrama de bloques de un Sistema de Control Automático en lazo cerrado

La señal de salida real es evaluada por medio de un sensor y es comparada con el punto de ajuste, obteniendo así una señal de error que es la que determinará las acciones que deben ser tomadas por el controlador sobre el actuador. El actuador o elemento final de control ejerce un efecto directo sobre la planta con la finalidad de llevar la salida del sistema de control lo más cercana al valor del punto de ajuste.

### 1.3 MEDICIÓN DE NIVEL DE LÍQUIDOS

Dentro de los procesos industriales la medición y el control de nivel se hace necesaria cuando se pretende tener una producción continua, cuando se desea mantener una presión hidrostática, cuando un proceso requiere de control y medición de volúmenes de líquidos o, bien en el caso más simple, para evitar que un líquido se derrame. La medición de nivel de líquidos dentro de un recipiente parece sencilla, pero puede convertirse en un problema más o menos difícil, sobre todo cuando el material es corrosivo o abrasivo, cuando se mantiene a altas presiones, cuando es radioactivo o cuando se encuentra en un recipiente sellado en el que no conviene tener partes móviles o cuando es prácticamente imposible mantenerlas. El control de nivel entre dos puntos, uno alto y otro bajo, es una de las aplicaciones más comunes de los instrumentos

para controlar y medir el nivel, los niveles se pueden medir y mantener mediante dispositivos mecánicos de caída de presión, eléctricos y electrónicos. El tipo de dispositivo depende de la clase del recipiente, del material que contenga y de la presión requerida en la medición o el control.

### **1.3.1 MEDIDORES DE NIVEL DE LÍQUIDOS**

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, ya sea, directamente la altura del líquido sobre una línea referencial, la presión hidrostática, el desplazamiento de un flotador producido por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o aprovechando propiedades eléctricas del líquido.<sup>7</sup>

Entre los métodos empleados para la medición de nivel de líquidos tenemos:

#### **1.3.1.1 Instrumentos de medida directa**

##### **1.3.1.1.1 Medidor de nivel por sonda**

Es el dispositivo más simple para medir nivel, y consiste en una varilla o regla graduada, de una longitud adecuada la cual es introducida dentro del depósito. La determinación se efectúa por lectura directa de la longitud mojada por el líquido, en el momento de la lectura el líquido debe estar a presión atmosférica. Se utiliza generalmente en tanques de gasolina.

Figura 1.4 a

Una variación de este tipo de medidor consiste en una varilla graduada con un gancho en su extremo el cual se sumerge en el seno del líquido y se levanta después hasta que el gancho rompe la superficie del líquido. La distancia desde esta superficie hasta la parte superior del tanque representa indirectamente el nivel. Se emplea en tanques de agua a presión atmosférica.

Figura 1.4 b

---

<sup>7</sup> ING. JUAN GILBERTO MATEOS SUÁREZ,(1996),  
[<http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/nivel1.htm>], **Medición de Nivel de Líquidos (1996)**, México



Otro sistema parecido es el medidor de cinta graduada y plomada, que se emplea cuando la regla graduada no tiene acceso al fondo del tanque. Figura 1.4c.

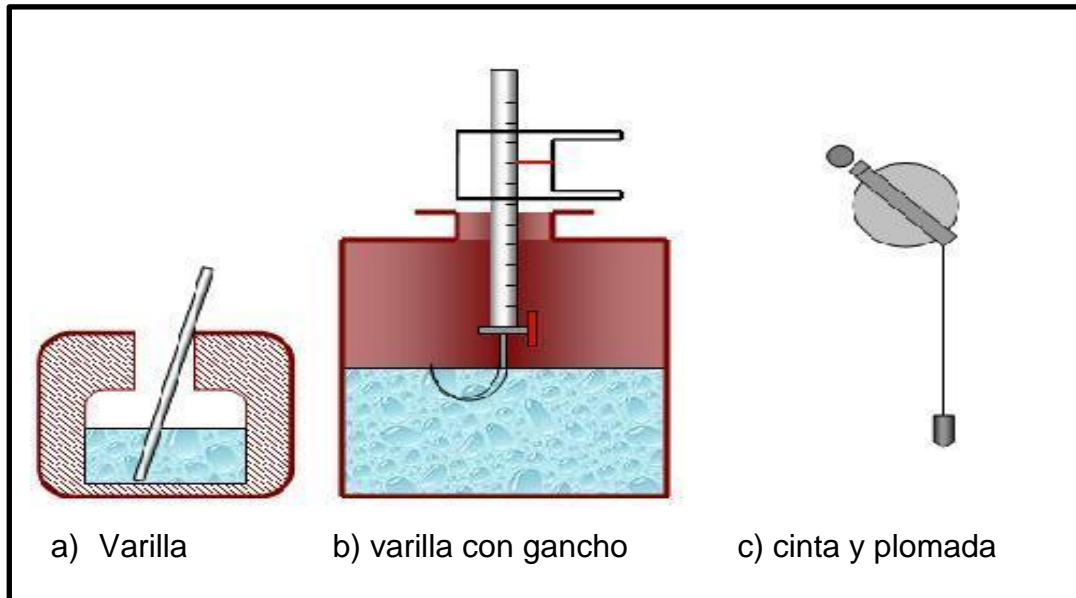


Figura 1.4 Medidores de nivel por sonda

#### 1.3.1.1.2 Método de la Columna de Vidrio

Este es otro sencillo método visual usado para medir el nivel de líquidos no corrosivos que no manchan y que no son pegajosos. La Figura 1.5 muestra un esquema del método de la columna de vidrio para depósitos abiertos y cerrados. En depósitos cerrados se puede mantener presiones más o menos altas utilizando mirillas protegidas para mayor seguridad. Normalmente la mirilla es de vidrio y mide el nivel del líquido en forma visual con fluctuaciones de 1m o menos, cuando se utiliza para medir variaciones mayores, se puede emplear varias secciones cortas, estas están combinadas de tal manera que el nivel del líquido siempre es visible en una de ellas.<sup>8</sup>

Por lo general existe un operador que controla el nivel del líquido dentro de los límites escogidos según la aplicación, en algunos casos se utiliza alumbrados especiales detrás de las mirillas y están arreglados para que se puedan ver

<sup>8</sup> Ibidem

diferentes colores para distintos niveles del líquido. Se puede agregar sensores fotoeléctricos a las mirillas para asegurar el control automático de nivel.

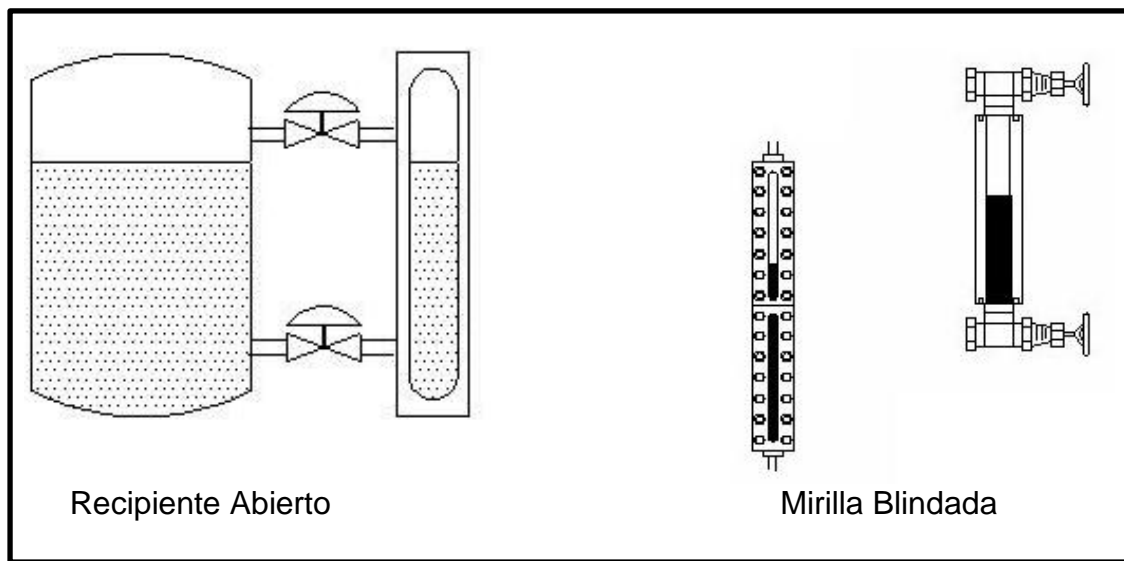


Figura 1.15 Método de la columna de vidrio

### 1.3.1.2 Instrumentos de medida por presión hidrostática

#### 1.3.1.2.1 Método manométrico

Consiste en un manómetro conectado a la parte inferior del tanque. El manómetro mide la presión debida a la altura  $h$  del líquido, que existe entre el nivel del tanque y el eje del instrumento. Figura 1.6.

Como las alturas son limitadas, el campo de medida es bastante pequeño de modo que el manómetro utilizado tiene un elemento de medida del tipo fuelle.

El instrumento se lo utiliza para líquidos limpios, debido a que si el líquido es corrosivo, coagula o tiene sólidos en suspensión el fuelle puede destruirse o bien bloquearse, la medida está limitada a tanques abiertos y el nivel viene influido por las variaciones de densidad del líquido.

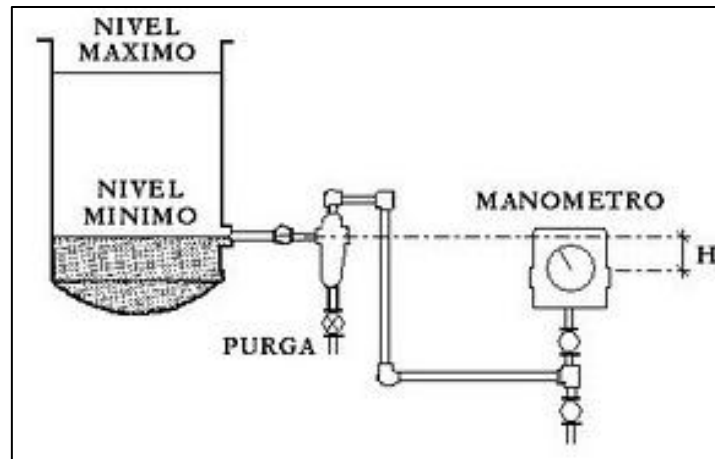


Figura 1.6 Método manométrico

### 1.3.1.2.2 Método sensor de nivel por membrana

La fuerza ejercida por la columna del líquido sobre el área de una membrana comprime el aire interno localizado en el instrumento sensor a una presión igual a la ejercida por la columna del líquido, lo que permite determinar el nivel del mismo. El volumen del aire interno es demasiado grande por lo cual el sistema está limitado a distancias no mayores a los 15 m debido a la compresibilidad del aire.<sup>9</sup>

El medidor de membrana tiene una precisión de  $\pm 1\%$ , es delicado ya que cualquier pequeña fuga de aire contenido en el diafragma destruiría la calibración del instrumento, y no puede emplearse con líquidos corrosivos.

En los líquidos que contienen sólidos en suspensión es necesario conectar una tubería de purga en la parte inferior del diafragma para obtener una limpieza periódica del instrumento.

<sup>9</sup> Ibidem

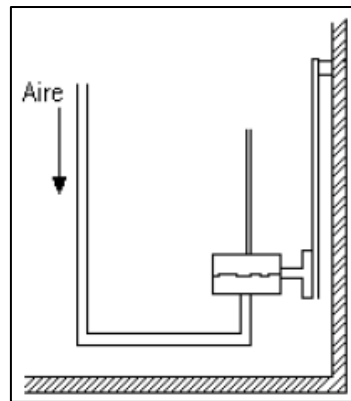


Figura 1.7 Método de membrana

### 1.3.1.2.3 Método por burbujeo

Este método emplea un tubo sumergido en el líquido al cual se hace burbujear aire mediante un rotámetro con un regulador de caudal incorporado. La presión del aire en la tubería equivale a la presión hidrostática ejercida por la columna del líquido, es decir, al nivel. El regulador de caudal permite mantener un caudal de aire constante a través del líquido independientemente del nivel, si no existiera, habría una gran diferencia en los caudales de aire necesarios desde el nivel mínimo al máximo, con el inconveniente de un caudal de aire indebido. La presión del aire en la tubería se mide mediante un manómetro de fuelles cuyo campo de medida corresponde a la presión máxima ejercida por el líquido.

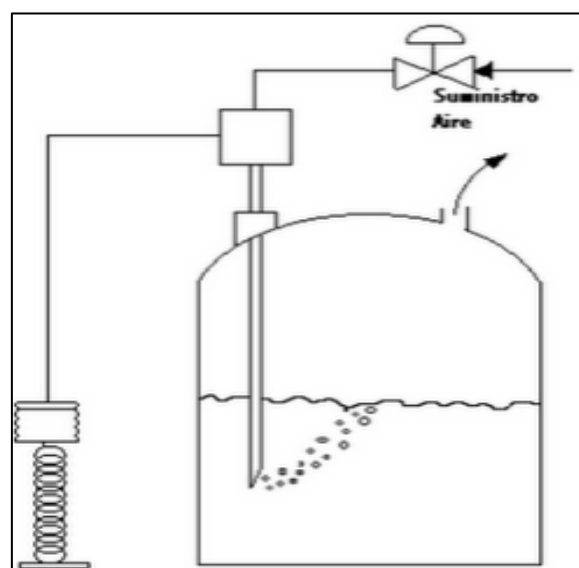


Figura 1.8 Método de burbujeo

No solo puede utilizarse aire sino otros tipos de gases e incluso líquidos como fluido de purga, el tubo debe tener una longitud adecuada para evitar que las variaciones bruscas de nivel introduzcan en su interior una cierta columna de líquido que retarde el paso del aire y falsee momentáneamente la lectura.

El método de burbujeo es simple y da buen resultado en particular, en el caso de líquidos corrosivos o con sólidos en suspensión. No se recomienda su empleo cuando el fluido de purga perjudica al líquido y para fluidos altamente viscosos en donde las burbujas formadas por el gas de purga presentan el riesgo de no separarse rápidamente del tubo.<sup>10</sup>

#### 1.3.1.2.4 Método de presión diferencial

Consiste en un diafragma en contacto con el líquido, el mismo que mide la presión hidrostática en un punto en el fondo, en un tanque abierto esta presión es proporcional a la altura del líquido y a su densidad (Ecuación 1.3). El diafragma forma parte de un transmisor de presión diferencial ya sea neumático o electrónico (Figura 1.9 a - b) el cuál entrega una señal de salida normalizada en voltaje o corriente dependiendo del tipo de transmisor, que permite determinar el nivel del líquido. Los transmisores neumáticos generan una señal neumática variable lineal de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) para el campo de medida de 0 al 100 % de la variable, mientras que los electrónicos generan la señal estándar de 4-20 mA D.C. o de 0 a 10 V D.C según sea el elemento transmisor.

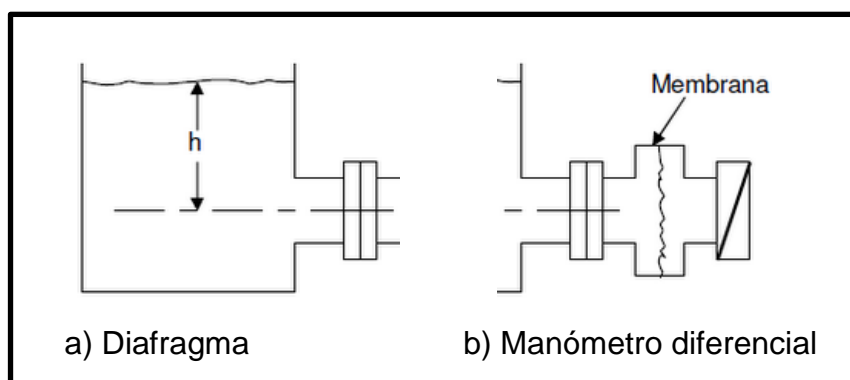


Figura 1.9 Método de presión diferencial

<sup>10</sup> Ibidem

En el caso de que el tanque este cerrado y bajo presión se debe corregir la indicación del aparato para la presión ejercida, debiendo señalar que la lectura será muy poco precisa si la presión es grande.

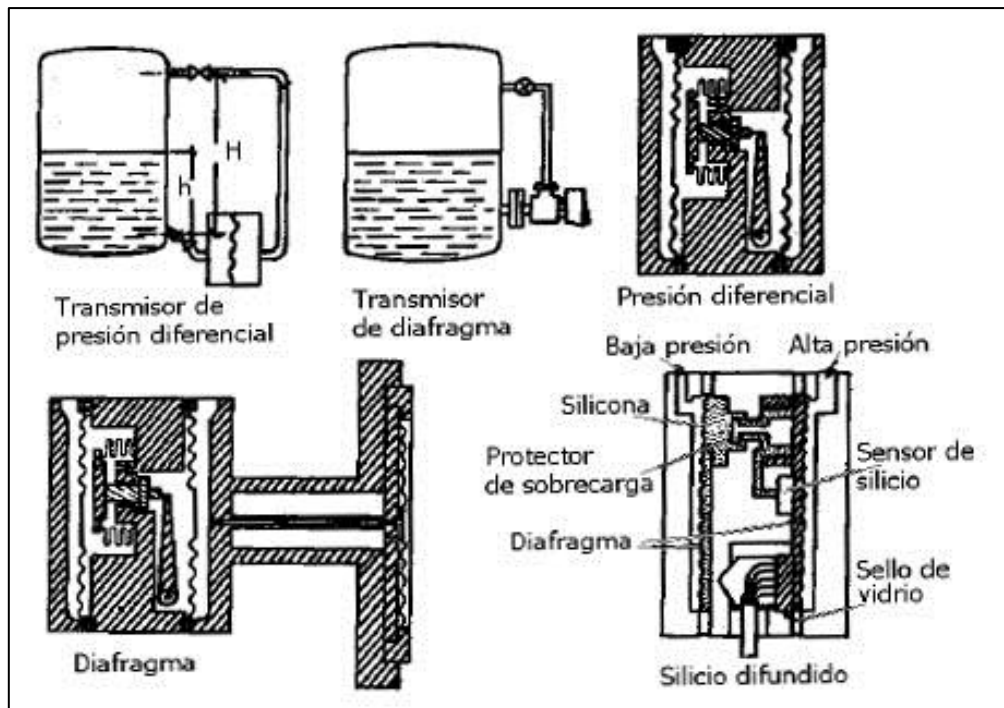


Figura 1.10 Método de presión diferencial en tanques cerrados

### 1.3.1.3 Instrumentos de medida por desplazamiento

#### 1.3.1.3.1 Método del flotador

El Principio de Arquímedes - "Un cuerpo sumergido total o parcialmente en un fluido experimenta una fuerza de flotación proporcional a la masa del fluido desalojado" - se usa en sensores de nivel cuyo elemento sensor es un flotador, el mismo que se encuentra situado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque a un mecanismo transductor de desplazamiento. Existen algunas formas de acoplar o conectar el flotador.

El flotador conectado directamente (Figura. 1.11.a) está unido por un cable que desliza en un juego de poleas a un índice exterior que señala sobre una escala graduada, su inconveniente es que sus partes móviles están expuestas al

fluido, el flotador debe mantenerse limpio y el tanque no puede estar sometido a presión. Es el modelo más antiguo utilizado en tanques de gran capacidad como los de gasolina.

El flotador acoplado magnéticamente (Figura. 1.11 b), desliza exteriormente a lo largo de un tubo guía sellado, situado verticalmente en el interior del tanque. Dentro del tubo, una pieza magnética sigue al flotador en su movimiento y mediante un cable y un juego de poleas arrastra el índice de un instrumento situado en la parte superior del tanque. (Figura. 1.11 c)

El flotador acoplado hidráulicamente (Figura. 1.11 d) actúa en su movimiento sobre un fuelle de tal modo que varía la presión de un circuito hidráulico, señalando la distancia en el receptor el nivel correspondiente. Puede emplearse en tanques cerrados, sin embargo requiere una instalación y calibración complicada, además posee partes móviles en el interior del tanque.<sup>11</sup>

En todos estos instrumentos, el flotador puede tener formas muy variadas y estar formado por materiales muy diversos según sea el tipo de fluido. Los instrumentos de flotador tienen una precisión  $\pm 0.5 \%$ , son adecuados en la medida de niveles en tanques abiertos y cerrados a presión o al vacío, y son independientes del peso específico del líquido. Presentan el inconveniente de que los tubos guías del flotador pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o ante la caída violenta de líquido en el tanque.<sup>12</sup>

---

<sup>11</sup> ING. JUAN GILBERTO MATEOS SUÁREZ,(1996),  
[<http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/nivel1.htm>], **Medición de Nivel de Líquidos (1996)**, México

<sup>12</sup> Ibidem

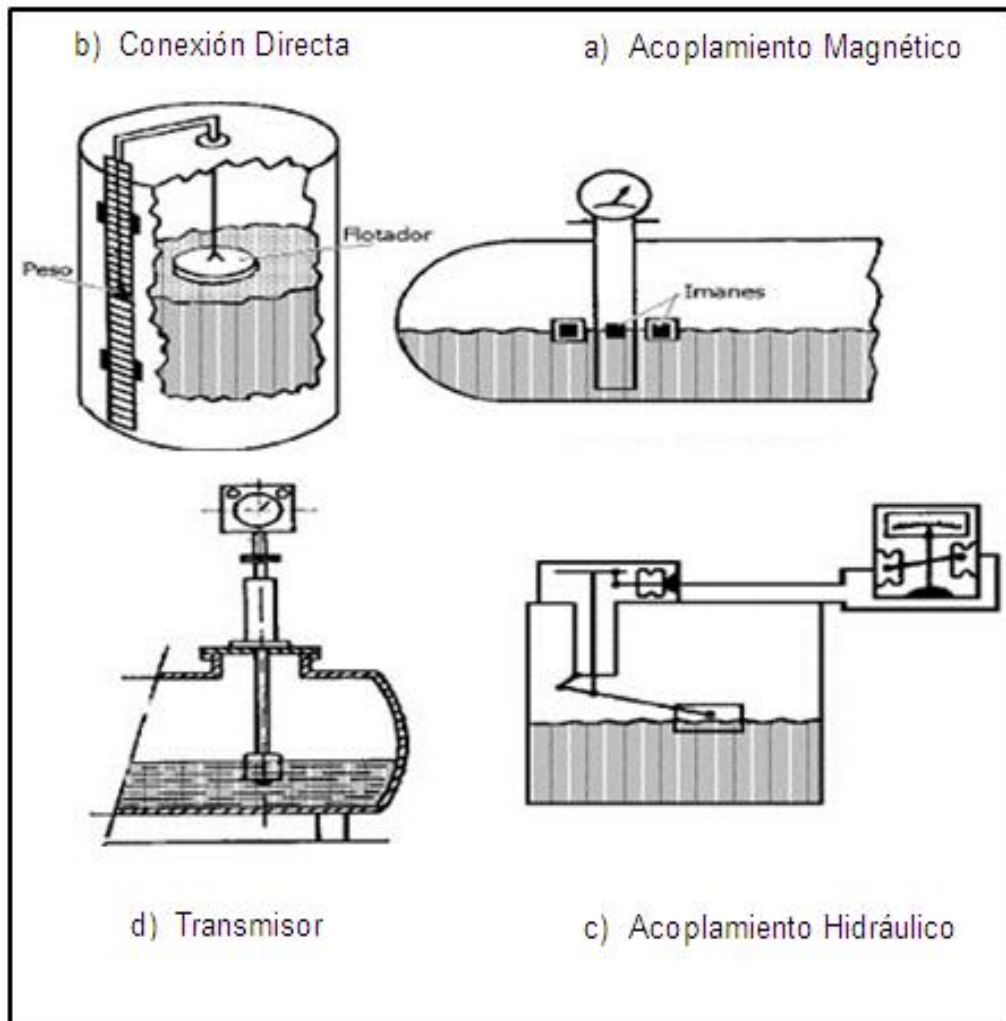


Figura 1.11 Medidores por flotador

#### 1.3.1.4 Instrumentos de medida por características eléctricas del líquido

##### 1.3.1.4.1 Método resistivo o conductivo

El nivel de los líquidos conductores de carga eléctrica puede ser detectado mediante uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando los electrodos entran en contacto con el líquido.

Cuando el líquido entra en contacto con los electrodos el circuito de relé se cierra. Las paredes del tanque, si es metálico, pueden usarse como uno de los electrodos. El relé electrónico dispone en ocasiones de un temporizador de



retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea.

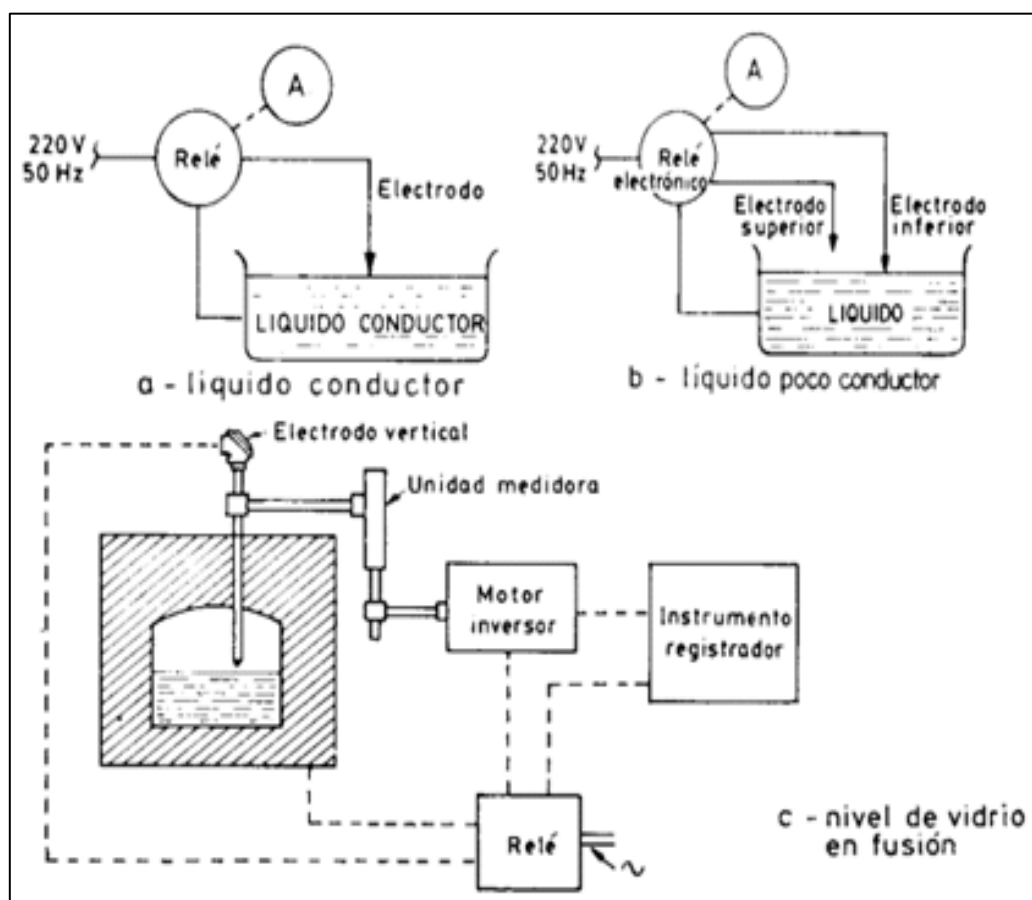


Figura 1.12 Método resistivo o conductivo

El líquido debe ser lo suficientemente conductor como para excitar el circuito del relé. La tensión de alimentación es de alterna para evitar fenómenos de oxidación en las sondas por causa del fenómeno de la electrólisis.

El instrumento se emplea como alarma o control de nivel alto o bajo, utiliza relés eléctricos para líquidos con buena conductividad y relés electrónicos para líquidos con baja conductividad. El instrumento es versátil, sin partes móviles, su campo de medida es grande con la limitación física de la longitud de los electrodos. El líquido contenido en el tanque debe tener un mínimo de conductividad y si su naturaleza lo exige, la corriente debe ser baja para evitar el deterioro del producto.

### 1.3.1.4.2 Método capacitivo

Cuando uno o más pares de electrodos se sumergen en un líquido, las variaciones en el dieléctrico entre los electrodos debidas a la subida o bajada de nivel, provocan cambios de la capacidad entre ellos. Esta variación de la capacidad es utilizada para determinar el nivel del líquido en un tanque. El sistema es sencillo y apto para muchas clases de líquidos, sin embargo, en los líquidos que poseen sólidos conductores que se encuentran en suspensión o en emulsión, se producen cambios de la constante dieléctrica, lo que origina cierto porcentaje de error en la medición, por otro lado al bajar el nivel la parte aislante del electrodo puede quedar recubierta de líquido y la capacidad adicional que ello representa da lugar a un error considerable.<sup>13</sup>

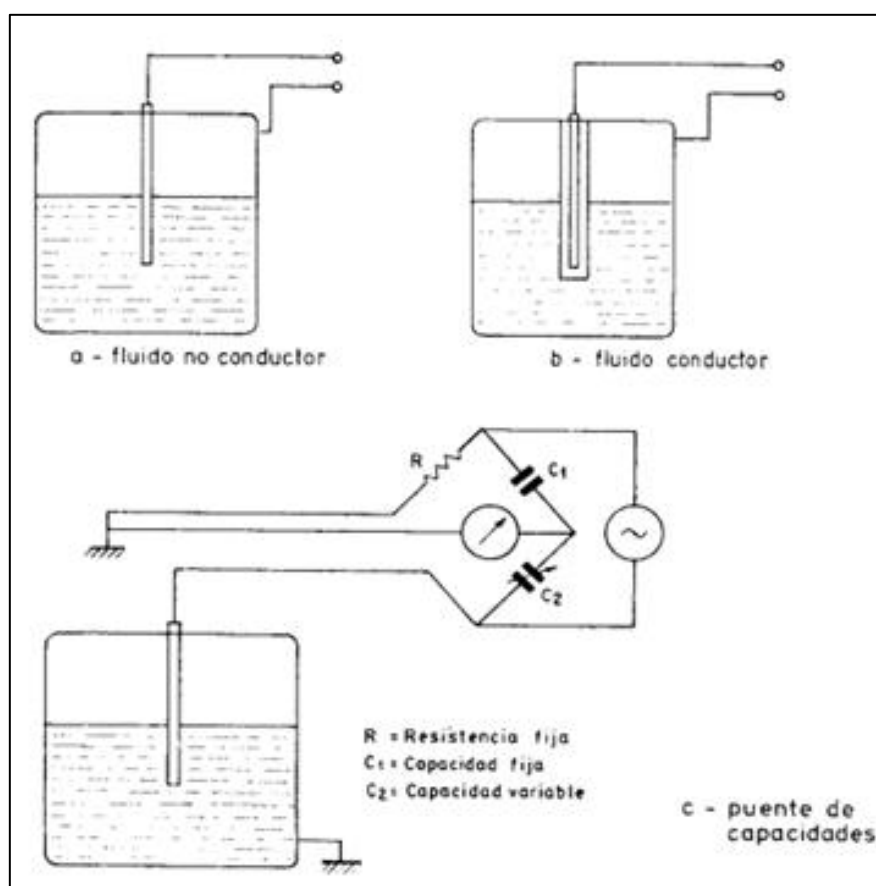


Figura 1.13 Método capacitivo

<sup>13</sup> Ibidem

Los sensores de nivel que utilizan este método se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Tienen el inconveniente de que la temperatura puede afectar a la constante dieléctrica.

#### **1.3.1.4.3 Método de ultrasonido**

Este tipo de sensores se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante, y la recepción del eco del mismo en un receptor.

El retardo en la captación del eco depende del nivel del líquido. Los sensores trabajan a una frecuencia de unos 20KHz, estas ondas atraviesan con cierto amortiguamiento o reflexión el medio ambiente de gases y se refleja en la superficie del líquido.

Para detectar el nivel de un líquido por ultrasonido se utiliza tres métodos básicos: de cavidad de resonancia, de oscilación amortiguada y de cambio sónico. Los sensores comparten una característica, su frecuencia de operación en el rango ultrasónico.

En el método de cavidad de resonancia se excita la cavidad formada por las paredes del tanque y la superficie del líquido mediante oscilaciones electromagnéticas a frecuencias ultrasónicas o radiofrecuencias, mediante un elemento colocado en la parte superior del tanque.

Cuando el nivel del líquido aumenta el volumen disminuye y la frecuencia de resonancia cambia. Cuando se conoce la frecuencia de resonancia del tanque vacío se puede determinar el nivel del líquido aplicando un factor de escala.

Para determinación de la frecuencia de resonancia se utiliza osciladores de frecuencia variable.

Este tipo de sensores son relativamente raros y se usan únicamente para aplicaciones muy especiales. (Figura. 1.14a)

En el método de camino sónico el emisor de energía ultrasónica está ubicado en el fondo del tanque. Se emplean un único elemento (usualmente un cristal piezoeléctrico), o un par de elementos uno como transmisor y otro como receptor (Figura. 1.14b).

El pulso de energía se dirige a la superficie del líquido midiéndose el tiempo de viaje del pulso al reflectarse en ella. Cuando se conoce la velocidad del sonido en el líquido en el cual viaja, se puede determinar la distancia entre el emisor y el receptor, y con ello el nivel del líquido.

Los sensores pueden estar en contacto con el líquido o montados en el exterior del tanque, este último tipo no es aplicable en algunas instalaciones o su uso puede quedar limitado por las características del líquido en el cual se va a determinar el nivel.

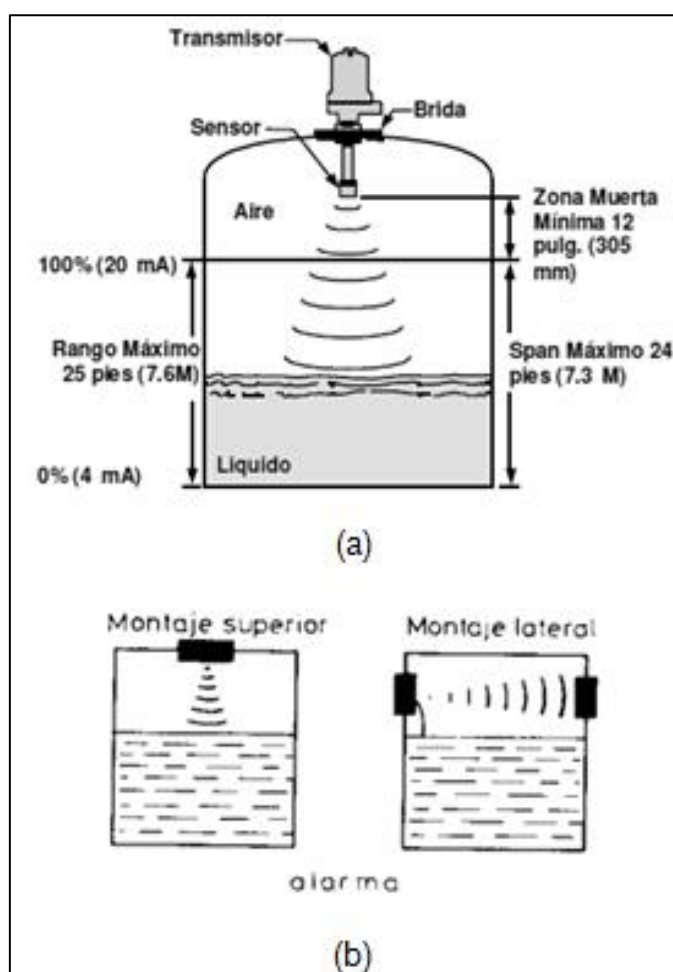


Figura 1.14 Método de ultrasonido

Los sensores por oscilación amortiguada son del tipo piezoeléctrico. Los sensores piezoeléctricos emplean un cristal cerámico o de cuarzo montado en el extremo de una sonda herméticamente sellada.

El cristal accionado por un circuito oscilador resuena a una amplitud normal cuando se encuentra inmerso en un gas, y a una amplitud reducida cuando se encuentra inmerso en un líquido.

El cambio de amplitud se detecta y los elementos de detección proporcionan una salida discreta.<sup>14</sup>

#### **1.3.1.4.4 Métodos sensores nucleares**

Este tipo de sensores contienen tres elementos principales: una fuente de radiación generalmente rayos gamma, uno o más detectores de radiación, y la radiación, y electrónica asociada con el detector.

La fuente de radiación contiene un isótopo radiactivo que emite rayos gamma, americio Am y radio Rd son usados en algunas fuentes, sin embargo son más comúnmente usados el cobalto Co y especialmente el Cesio Cs. La fuente esta siempre dentro de una cámara. El detector es usualmente un tubo de Geiger-Muller (contador de Geiger) que transforma la señal gama recibida en una señal eléctrica de corriente continua. La electrónica es la necesaria para proporcionar los potenciales adecuados del detector y acondicionar la salida del mismo.

Las cámaras iónicas con su electrónica asociada se vienen usando como detectores en los sensores de nivel continuo. Los sensores de nivel están basados en la cantidad de radiación absorbida en el camino entre la fuente y el preceptor.

Los sistemas sensores de nivel nucleares se utilizan en la medición de niveles

---

<sup>14</sup> Ibidem

de líquidos situados en contenedores que no disponen de ninguna apertura al exterior y que precisan una medición externa, es ventajoso cuando existen presiones elevadas en el interior del tanque que impiden el empleo de otros métodos de medición.

La precisión en la medida está en el rango de  $\pm 0.5\%$  a  $\pm 2\%$ , y puede emplearse para todo tipo de líquidos ya que no están en contacto con el proceso. Su lectura viene influenciada por el aire y por otros gases disueltos en el líquido.

Hay que señalar que el sistema es costoso, y que se debe tener cuidado con el aspecto de la contaminación radiactiva dependiendo del área donde se encuentre instalado.

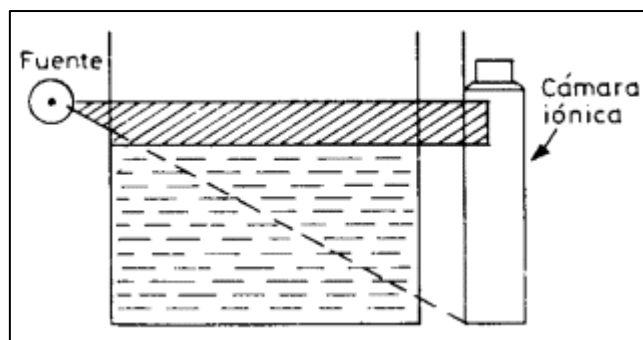


Figura 1.15 Esquema de un medidor nuclear

## 1.4 VÁLVULAS DE CONTROL PARA FLUIDOS

### 1.4.1 DEFINICIÓN

Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación de un fluido cualquiera mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos. Las válvulas son uno de los instrumentos de control esenciales en la industria.<sup>15</sup>

<sup>15</sup> GREENE, Richard, Válvulas selección, uso y mantenimiento. Mc Graw Hill. México. 1988



Figura 1.16 Válvulas de Control

## 1.4.2 TIPOS DE VÁLVULAS

Debido a las múltiples necesidades de la industria se han desarrollado varios diseños de válvulas las mismas que se diferencian principalmente por la forma y acción del obturador y pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:

### 1.4.2.1 Válvulas de Compuerta

La válvula de compuerta es de vueltas múltiples, en la cual se cierra el orificio con un disco vertical de cara plana que se desliza en ángulos rectos sobre el asiento.

Recomendada para

- Servicio con apertura o cierre total, sin estrangulación.
- Para uso poco frecuente.
- Para mínima resistencia a la circulación.
- Para mínimas cantidades de fluido atrapado en la tubería.
- Servicio general, aceites y petróleo, gas, aire, líquidos espesos, vapor, líquidos no condensables y líquidos corrosivos.

### Ventajas

- Alta capacidad, cierre hermético, bajo costo.
- Diseño y funcionamiento sencillos.

### Desventajas

- Control deficiente de la circulación.
- Se requiere mucha fuerza para accionarla.
- Produce cavitación con baja caída de presión.

#### **1.4.2.2 Válvulas de Macho**

La válvula de macho es de 1/4 de vuelta, controla la circulación por medio de un macho cilíndrico o cónico que tiene un agujero en el centro que se puede mover de la posición abierta a la cerrada mediante un giro de 90°.

### Recomendada para

- Servicio con apertura o cierre total.
- Para accionamiento frecuente.
- Para baja caída de presión a través de la válvula.
- Para mínima resistencia a la circulación.
- Para cantidad mínima de fluido atrapado en la tubería.
- Servicio general, pastas semilíquidas, líquidos, vapores, gases, corrosivos.

### Ventajas

- Alta capacidad, cierre hermético, bajo costo y funcionamiento rápido.

### Desventajas

- Se requiere alta torsión o par para accionarla.



- Desgaste del asiento.
- Cavitación con baja caída de presión.

#### **1.4.2.3 Válvulas de Globo**

La válvula de globo es de vueltas múltiples, en la cual el cierre se logra por medio de un disco o tapón que cierra o corta el paso del fluido en un asiento que suele estar paralelo con la circulación en la tubería.

Recomendada para

- Estrangulación o regulación de circulación.
- Para uso accionamiento frecuente.
- Cuando es aceptable cierta resistencia en la circulación.
- Servicio general, líquidos, vapores, gases, corrosivos, pastas semilíquidas.

Ventajas

- Estrangulación eficiente con estiramiento o erosión mínimos del disco o asiento.
- Carrera corta del disco y pocas vueltas para accionarla, lo cual reduce el tiempo y desgaste en el vástago.
- Control preciso de la circulación.

Desventajas

- Gran caída de presión.
- Costo relativo elevado.

#### **1.4.2.4 Válvulas de Bola**

Las válvulas de bola son de 1/4 de vuelta en las cuales una bola taladrada gira entre asientos elásticos, lo cual permite la circulación directa en la posición abierta y corta el paso cuando se gira la bola 90° y cierra el conducto.

Recomendada para

- Servicio de conducción y corte sin estrangulación.
- Cuando se requiere apertura rápida.
- Cuando se necesita mínima resistencia a la circulación.
- Para temperaturas moderadas.

Ventajas

- Bajo costo, alta capacidad, corte bidireccional.
- Circulación en línea recta, pocas fugas, poco mantenimiento.
- No requiere lubricación tamaño compacto.
- Cierre hermético.

Desventajas

- Características deficientes para estrangulación.
- Alta torsión para accionarla
- Susceptible al desgaste de sellos o empaquetaduras.
- Propensa a la cavitación.

#### **1.4.2.5 Válvulas de Mariposa**

La válvula de mariposa es de  $\frac{1}{4}$  de vuelta y controla la circulación por medio de un disco circular, con el eje de su orificio en ángulos rectos con el sentido de la circulación.

Recomendada para

- Servicio con apertura o cierre total.
- Servicio con estrangulación.
- Para accionamiento frecuente.
- Cuando solo se permite un mínimo de fluido atrapado en las tuberías.
- Para baja caída de presión a través de la válvula.

- Servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos en suspensión.

#### Ventajas

- Ligera de peso, compacta, bajo costo.
- Requiere poco mantenimiento.
- Número mínimo de piezas móviles.
- Alta capacidad.
- Circulación en línea recta.

#### Desventajas

- Capacidad limitada para caída de presión.
- Alta torsión para accionarla
- Propensa a la cavitación.

#### **1.4.2.6 Válvula de Diafragma**

La válvula de diafragma es de vueltas múltiples y efectúa el cierre por medio de un diafragma flexible sujeto al compresor.

Cuando el vástago de la válvula hace descender el compresor, el diafragma produce sellamiento y corta la circulación.

#### Recomendada para

- Servicio con apertura o cierre total.
- Para servicio de estrangulación.
- Para servicio con bajas presiones de operación.
- Fluidos corrosivos, materiales pegajosos o viscosos, pastas semilíquidas, lodos, alimentos, productos farmacéuticos.

### Ventajas

- Bajo costo, no tiene empaquetaduras.
- No hay posibilidades de fugas por el vástago.
- Inmune a los problemas de obstrucción, corrosión o formación de gomas en los productos que circulan.

### Desventajas

- Diafragma susceptible al desgaste.
- Elevada torsión al cerrar con la tubería llena.

#### **1.4.2.7 Válvulas de Apriete**

La válvula de apriete es de vueltas múltiples y efectúa el cierre por medio de uno o más elementos flexibles, como diafragmas o tubos de caucho que se pueden apretar u oprimir entre si para cortar la circulación.

### Recomendada para

- Servicio de apertura y cierre.
- Servicio de estrangulación.
- Para temperaturas moderadas.
- Cuando hay baja caída de presión a través de la válvula.
- Para servicios que requieren poco mantenimiento.
- Pastas semilíquidas, lodos y pastas de minas, líquidos con gran cantidad de sólidos en suspensión, sistemas para conducción neumática de sólidos, servicios de alimentos.

### Ventajas

- Bajo costo, poco mantenimiento.
- No hay obstrucciones o bolsas internas que lo obstruyan.
- No corrosiva y resistente a la abrasión.

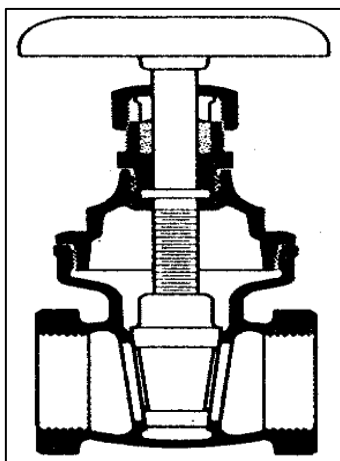
### Desventajas

- Aplicación limitada para vacío.
- Difícil de determinar el tamaño.

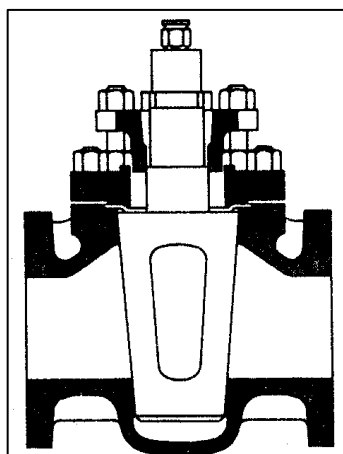
#### 1.4.2.8 Válvulas unidireccionales (check) y de desahogo (alivio)

Este tipo de válvulas son de servicio general y de accionamiento automático, funcionan sin controles externos y dependen para su funcionamiento del sentido de circulación o de las presiones en el sistema de tubería.

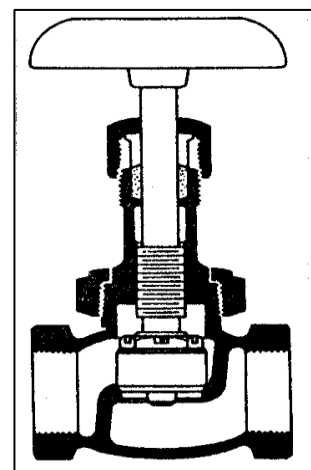
Las válvulas unidireccionales están diseñadas para impedir una inversión de la circulación. La circulación de líquido en el sentido deseado abre la válvula, y al invertirse la circulación se cierra. Una válvula de desahogo permite tener una regulación automática de la presión. El uso principal de esta válvula es para servicio con fluidos no compresibles y se abre con lentitud conforme aumenta la presión.



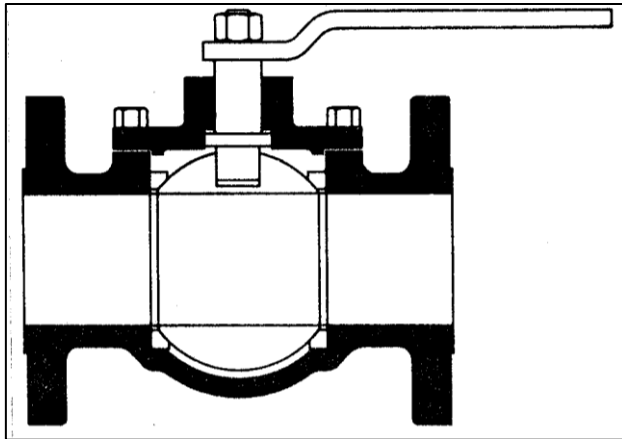
Compuerta



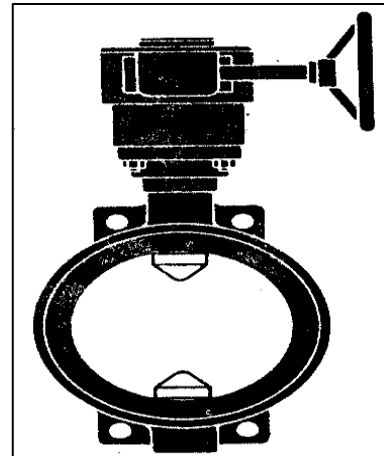
De macho



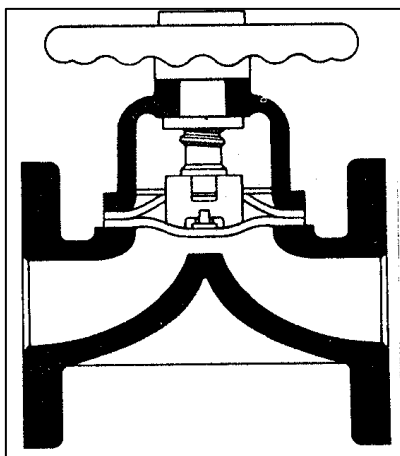
De globo



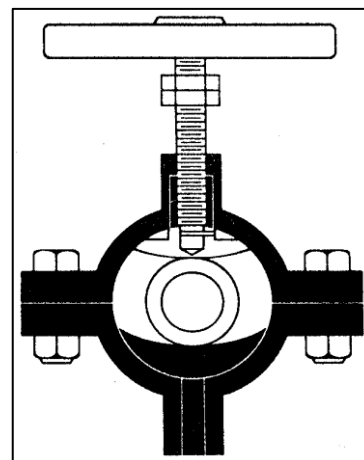
De bola



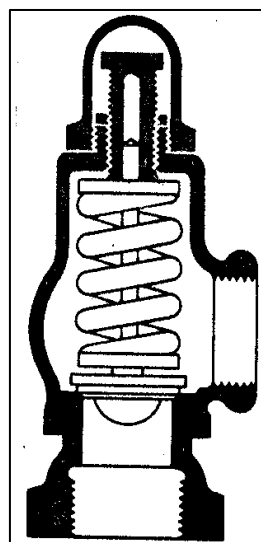
De mariposa



De diafragma



De apriete



De alivio

Figura. 1.17 Tipos de válvulas

### 1.4.3 COMPORTAMIENTO DEL FLUIDO EN UNA VÁLVULA DE CONTROL

Entre las funciones de los componentes internos de una válvula tenemos:

- Producir una restricción variable dentro del cuerpo para producir cambios en el flujo del fluido.
- Configurar el flujo con respecto a su trayectoria.
- Producir cierto grado de corte de flujo cuando está cerrada por completo.

Por lo que se tienen muchas variantes en los componentes internos de la válvula. Una restricción variable se obtiene de dos formas generales, de acuerdo con la clasificación del cuerpo como del vástago de movimiento lineal o rotatorio.<sup>16</sup>

En ambos casos hay una relación entre el movimiento y el flujo que se llama "característica de flujo", la que depende de la característica propia del flujo o del flujo con la válvula instalada.

La característica propia del flujo es la producida con una caída constante de presión en la válvula. Las tres características de uso más comunes son: lineal, porcentaje igual y apertura rápida.

---

<sup>16</sup> GRATTON, J. (2002). Introducción a La Mecánica De Fluidos. Buenos Aires

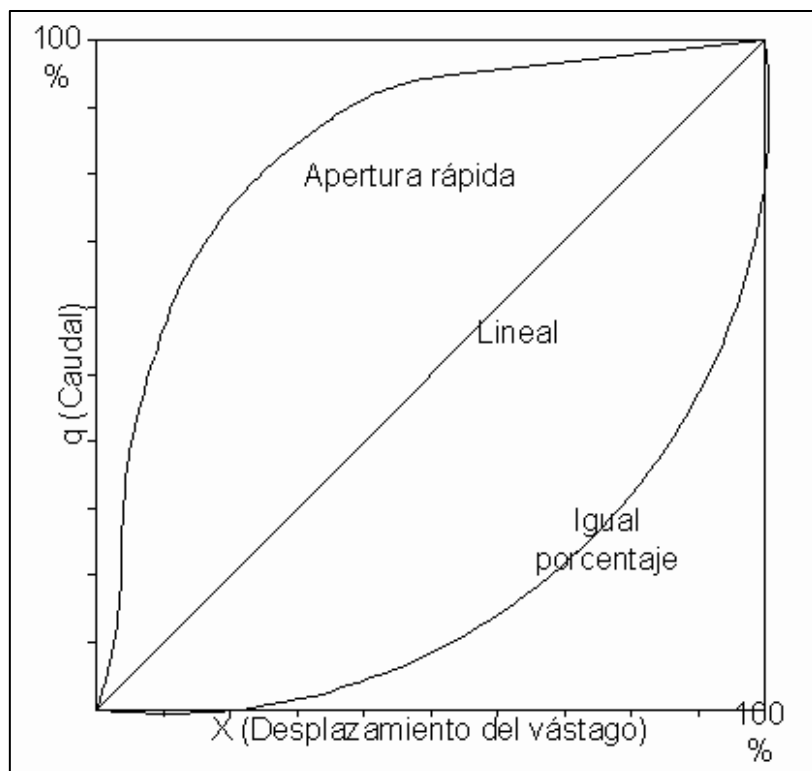


Figura 1.18 Características propias de flujo de válvulas

Las característica de flujo con la válvula instalada es la que existe cuando varia la caída de presión en la válvula según lo determinen el flujo y las condiciones en el sistema.

#### 1.4.4 SERVOVÁLVULAS

El control efectivo de los procesos industriales requiere generalmente un amplio uso de elementos finales de control, entre ellos el más frecuentemente empleado en la industria es la válvula de control o servoválvula. Esta tiene como función variar el caudal del fluido, que a su vez modifica el valor de la variable medida. Dentro del lazo de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. Se componen básicamente del cuerpo de la válvula y del servomotor o actuador.<sup>17</sup>

<sup>17</sup> GREENE, Richard, Válvulas selección, uso y mantenimiento. Mc Graw Hill. México. 1988



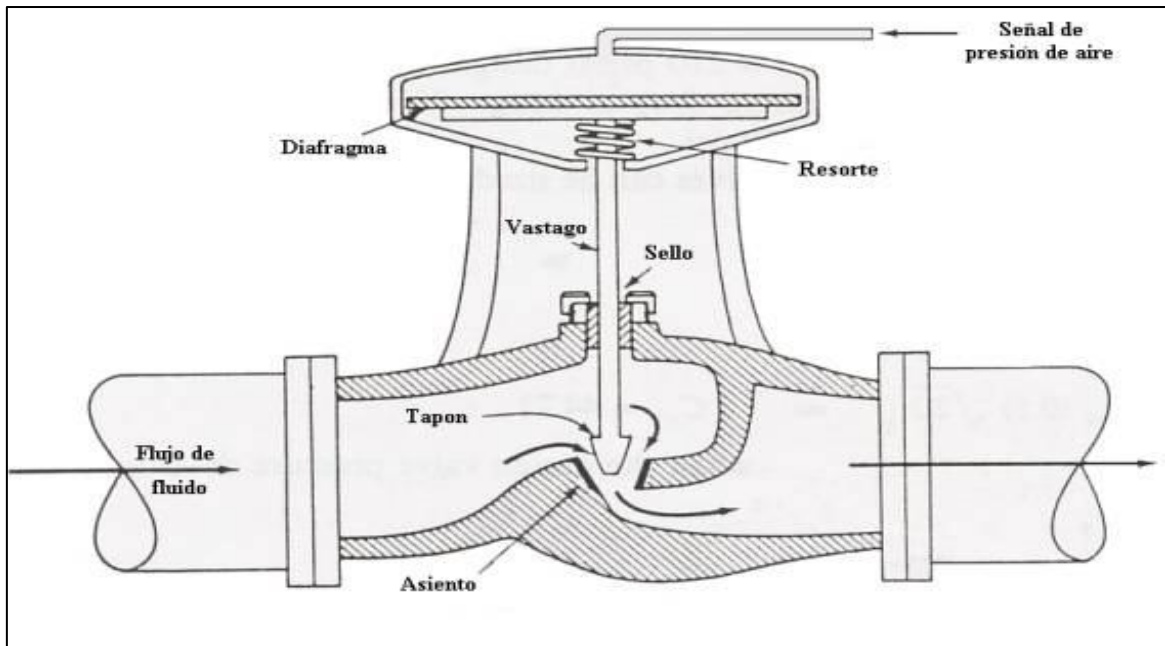


Fig. 1.19 Válvula de control típica

#### 1.4.4.1 Actuadores

Esencialmente el actuador de una válvula debe hacer uso de la señal de control que recibe para convertirla a movimiento del obturador (tapón, disco, bola, etc.) de la válvula y con ello modificar su porcentaje de apertura y capacidad.

Los actuadores clasificarse en los siguientes diseños básicos atendiendo principalmente a la naturaleza de la señal de entrada y el método utilizado para convertir dicha señal a movimiento de tipo mecánico.

##### 1.4.4.1.1 Actuadores Neumáticos

Son los más simples y se caracterizan por poseer una gran rapidez de respuesta y una gran potencia disponible para accionar la servoválvula, en la práctica un 90% de las válvulas utilizadas en la industria son accionadas neumáticamente.

Está compuestas por un diafragma con resorte que trabaja generalmente entre 3 y 15 psi (0.2 a 1 bar), al aplicar cierta presión sobre el diafragma el resorte se comprime de tal modo que el mecanismo empieza a moverse y sigue

moviéndose hasta que llega a un equilibrio entre la fuerza ejercida por la presión del aire sobre el diafragma y la fuerza ejercida por el resorte.

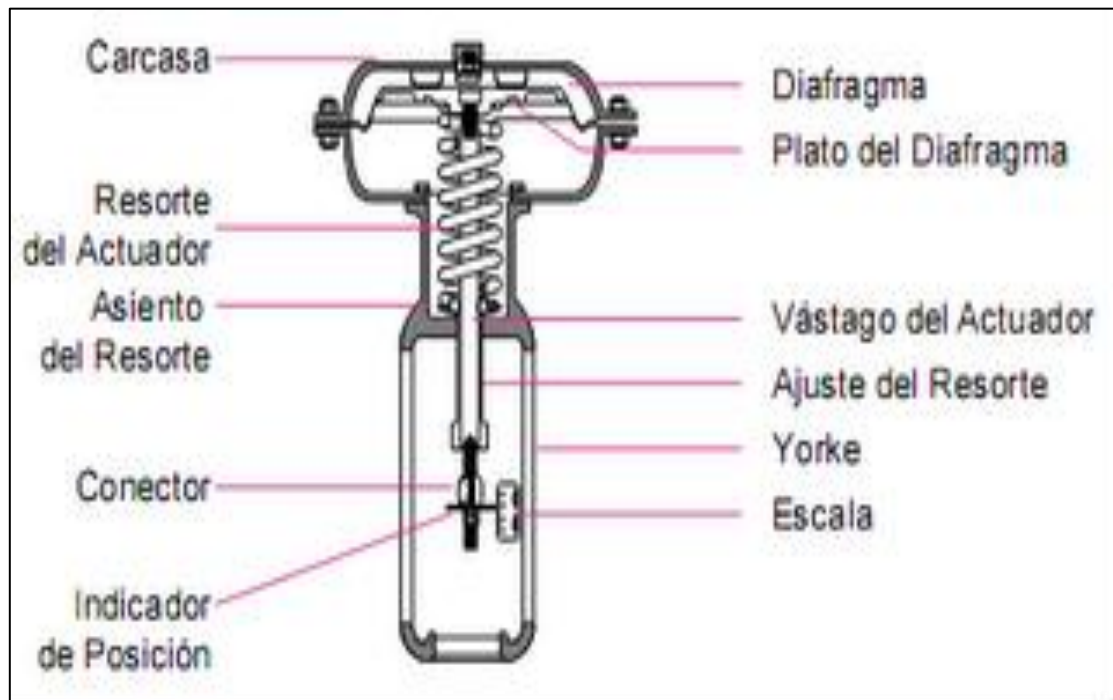


Figura 1.20 Actuador Neumático

#### 1.4.4.1.2 Actuadores Hidráulicos

Consisten de una bomba de accionamiento eléctrico que suministra fluido hidráulico a la cámara del pistón que controla la válvula. La señal del instrumento de control determina la posición del pistón y por tanto la posición del vástago de la válvula controlando el flujo a través de la misma.

Se caracterizan por ser extremadamente rápidos, potentes y suaves, son de costo elevado por lo que son empleados únicamente cuando las especificaciones de servicio así lo requieren.

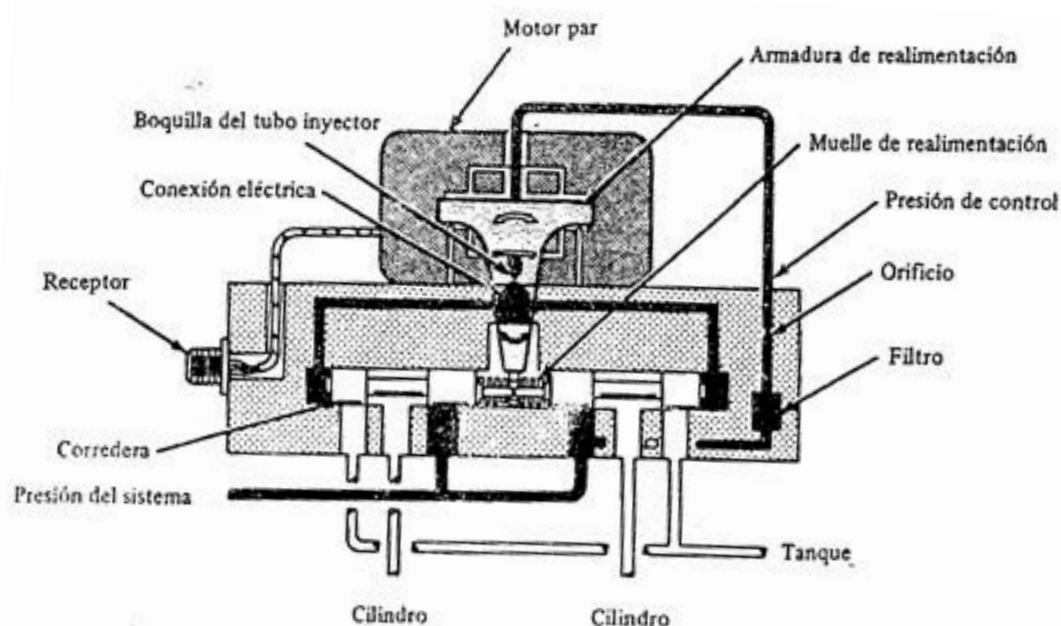


Figura 1.21 Actuador Hidráulico

#### 1.4.4.1.3 Actuadores Eléctricos

Básicamente utilizan un motor eléctrico rotativo para obtener un movimiento lineal del vástago de la válvula de control a través de un tren de engranajes. Ofrecen una gran ventaja en instalaciones en las que no se cuenta con suministro de aire pues requieren de una señal eléctrica para su accionamiento.

Los actuadores eléctricos permiten ejercer dos tipos de control: on - off, y proporcional.

El on - off consiste en un motor unidireccional el cual es controlado internamente por dos interruptores finales de carrera activados por una leva. Su funcionamiento consiste en la energización de dos bobinas que ocasionan el giro del motor.<sup>18</sup>

El proporcional está conformado por dos potenciómetros uno del controlador y

<sup>18</sup> GREENE, Richard, Válvulas selección, uso y mantenimiento. Mc Graw Hill. México. 1988

el otro del motor donde el primero es el que varía constantemente con la finalidad de variar la corriente a través de los dos devanados que ocasionarán magnéticamente en el relé un desplazamiento sobre un eje central que será transmitido hacia los contactos de excitación de las bobinas de giro del motor, donde éste a su vez se encarga de variar su potenciómetro mediante brazos hasta lograr igualar las corrientes en las bobinas respecto a la ubicación de su homólogo, logrando equilibrar de nuevo el relé.

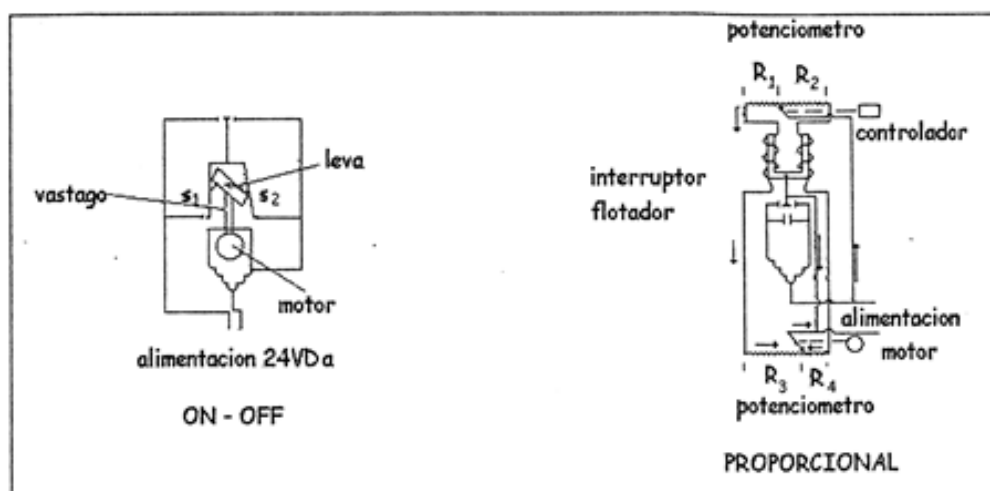


Figura 1.22 Actuadores Eléctricos

## 1.5 PLC (CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE)

### 1.5.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Los PLC's (Controladores Lógicos Programables) son equipos o máquinas electrónicas programables diseñados para controlar en tiempo real y en un ambiente industrial procesos secuenciales o combinacionales. Estos aparatos se basan en el empleo de un microcontrolador para el manejo de las entradas y salidas.<sup>19</sup>

La memoria del PLC contendrá tanto el programa de usuario como el sistema operativo que permite ejecutar secuencialmente las instrucciones del programa.

<sup>19</sup> OGATA, Katsuhiko, "SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO". Prentice Hall. Segunda Edición. México. 1995

Además, los PLC's pueden realizar operaciones aritméticas, manipulaciones complejas de datos, tiene mayores capacidades de almacenamiento y pueden comunicarse más eficientemente con el programador y con otros controladores y computadoras en redes de área local, ahora muchos PLC's incorporan instrucciones y módulos que permiten manejar señales analógicas y realizar estrategias de control más sofisticadas que el simple on-off, tales como el control PID.



Figura. 1.23 Controladores Lógicos Programables

### 1.5.2 ESTRUCTURA EXTERNA

Todos lo PLC's poseen una estructura modular o compacta.

- Compacta: en un solo bloque están todos los elementos.
- Modular: cada bloque o módulo cumple una función específica (fuente de alimentación, CPU, entradas, salidas, etc.)<sup>20</sup>

<sup>20</sup> OGATA, Katsuhiko, "SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO". Prentice Hall. Segunda Edición. México. 1995

### 1.5.3 ESTRUCTURA INTERNA

La estructura interna de un PLC está compuesta básicamente por:

- Fuente de alimentación

Es la encargada de convertir la tensión nominal de la red a baja tensión de corriente continua la que permite el funcionamiento de los circuitos electrónicos que forman el PLC.

- Unidades de E/S (Entrada y Salida de datos)

Generalmente vamos a disponer de dos tipos de E/S, digitales y analógicas, las E/S digitales se basan en el principio de todo o nada es decir no conducen señal alguna o poseen un nivel mínimo de tensión. Estas E/S se manejan a nivel de bit dentro del programa de usuario.

Las E/S analógicas pueden poseer cualquier valor dentro de un rango determinado por el fabricante. Se basan en conversores A/D y D/A aislados de la CPU ópticamente o por etapa de potencia.

Estas señales se manejan a nivel de byte o palabra (8/16 bits) dentro del programa de usuario.

- Unida Central de Procesamiento ( CPU )

Se encarga de ejecutar el programa de usuario mediante el programa del sistema, para ello disponemos de diversas zonas de memoria, registros e instrucciones de programa.

- Memoria

Dentro del CPU se dispone de un área de memoria la cual es empleada para diversas funciones:

- Memoria de programa de usuario: aquí se introduce el programa que el PLC va a ejecutar.
- Memoria de la tabla de datos: se suele subdividir en zonas según el tipo de datos (marcas de memoria, temporizadores .contadores, etc.).
- Memoria del sistema: aquí se encuentra el programa en código máquina que monitoriza el sistema. Este programa es ejecutado directamente por el microprocesador que posea el PLC.
- Memoria de almacenamiento: se trata de memoria externa que se emplea para almacenar el programa de usuario.

Cada PLC divide su memoria de esta forma genérica, haciendo subdivisiones específicas según el modelo y fabricante.

- Interfaces

Todo PLC salvo casos excepcionales, posee la virtud de poder comunicarse con otros dispositivos. Generalmente para esto utilizan una interfaz serial del tipo RS-232 / RS-422. Mediante esta línea puede manejarse todas las características internas del PLC, incluida la programación del mismo, y suele emplearse para monitoreo del proceso a distancia mediante un HMI (Interfaz Hombre Máquina).<sup>21</sup>

---

<sup>21</sup> OGATA, Katsuhiko, "SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO". Prentice Hall. Segunda Edición. México. 1995

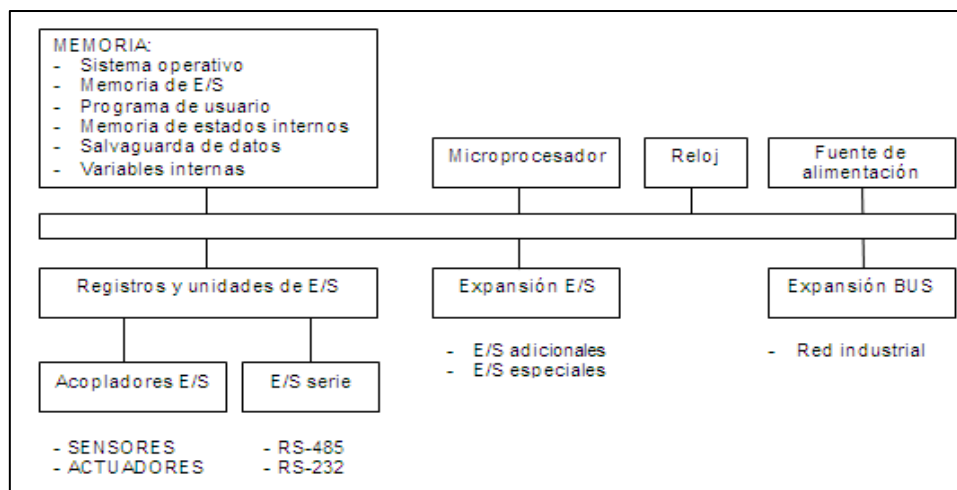


Figura. 1.24 Estructura Interna de un PLC

### 1.5.4 CAMPOS DE APLICACIÓN

Los PLC's controlan la gran mayoría de procesos industriales como:

- Control de movimientos de máquinas (avanzar, retroceder, girar, etc.)
- Procesos de manufactura en línea como: embotellado, embalaje, etiquetado, etc.
- En procesos donde se requiere control lógico como: ascensores, semáforos, control de motores, subestaciones eléctricas, calderas, etc.
- En equipos hidroneumáticos, hidráulicos y óleo hidráulicos.
- Para regulación en procesos que requieran lazos de control, cuando el PLC está configurado en bloques funcionales PID.

En general los PLC's se usan en procesos o máquinas que tengan espacio reducido, procesos de producción periódicamente cambiantes, procesos secuenciales o combinacionales, instalaciones de procesos complejos.

Actualmente se usan para otras aplicaciones no industriales como la automatización de viviendas y edificios, control de cultivos en invernaderos, control de abonos en la tierra, entre otros.



### **1.5.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES**

Entre las ventajas tenemos:

- Menor tiempo de elaboración del proyecto.
- Posibilidad de añadir modificaciones sin costo añadido a otros componentes.
- Mínimo espacio de ocupación.
- Menor costo de mano de obra.
- Mantenimiento económico.
- Posibilidad de gobernar varias máquinas con el mismo PLC.
- Menor tiempo de puesta en funcionamiento.
- Mayor fidelidad.
- Costo menor.

Y entre los inconvenientes

- Dificil localización de fallas debido a la complejidad en el diseño del programa.
- Una falla del PLC puede detener por completo los procesos que controla.
- Costos en la capacitación local de técnicos.

### **1.5.6 LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN**

La creciente complejidad en la programación de los PLC's originó la necesidad de la estandarización de los lenguajes de programación, es así como bajo la dirección del IEC (International Electrical Code) se creó el estándar IEC1131-3, el mismo que define los siguientes lenguajes de programación gráficos y textuales.

#### **1.5.6.1 Graneo Secuencial de Funciones ( SFC)**

El gráfico secuencial de funciones (SFC o Grafcet) es un lenguaje gráfico que proporciona una representación en forma de diagrama de las secuencias del

programa. Soporta selecciones alternativas de secuencia y secuencias paralelas. Los elementos básicos son pasos y transiciones. Los pasos consisten de partes programa que son inhibidas hasta que una condición especificada por las transiciones es conocida. Como consecuencia de que las aplicaciones industriales funcionan en forma de pasos el SFC es la forma lógica de especificar y programar el más alto nivel de un programa para un PLC.

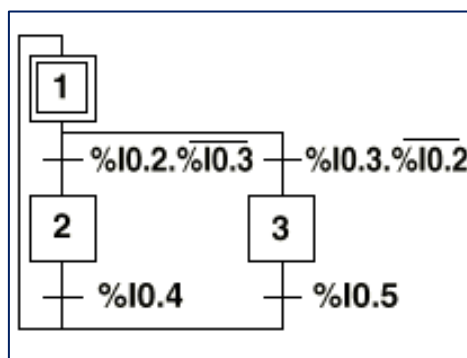


Figura. 1.24 Diagrama de programación en SFC

#### 1.5.6.2 Lista de Instrucciones

La lista de instrucciones (IL o AWL) es un lenguaje de bajo nivel similar al lenguaje ensamblador. Con IL solo una operación es permitida por línea (por ejemplo almacenar el valor de un registro).

Este lenguaje es adecuado para pequeñas aplicaciones y para optimizar partes de una aplicación.

000	LD	%I0.1	Bp. Inicio ciclo
	AND	%I0.0	Dp. Presencia vehículo
	AND	%M3	Bit autorización reloj calendario
	AND	%I0.5	Fc. Alto rodillo
	AND	%I0.4	Fc. Detrás pórtico
005	S	%M0	Memo inicio ciclo
	LD	%M2	
	AND	%I0.5	
	OR	%I0.2	Bp. Parada ciclo
	R	%M0	
010	LD	%M0	
	ST	%Q0.0	Piloto ciclo

Fig.1.25 Diagrama de programación en IL.

### 1.5.6.3 Diagrama de Contactos

El Diagrama de Contactos (Ladder Diagram LD) es un lenguaje que utiliza un juego estandarizado de símbolos de programación. En el estándar IEC los símbolos han sido racionalizados. Tiene mucha similitud con la simbología utilizada en diagramas electromecánicos.

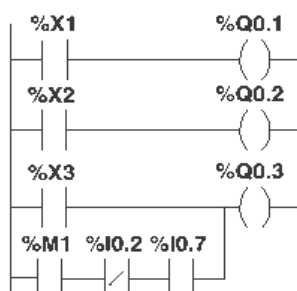


Figura. 1.26 Diagrama de programación Ladder

### 1.5.6.4 Bloques de Funciones (FB)

Son bloques estándar que ejecutan funciones lógicas de tipo booleano tales como AND, OR, NOT. Además incluyen bloques con funciones especiales como temporizadores, contadores, etc.<sup>22</sup>

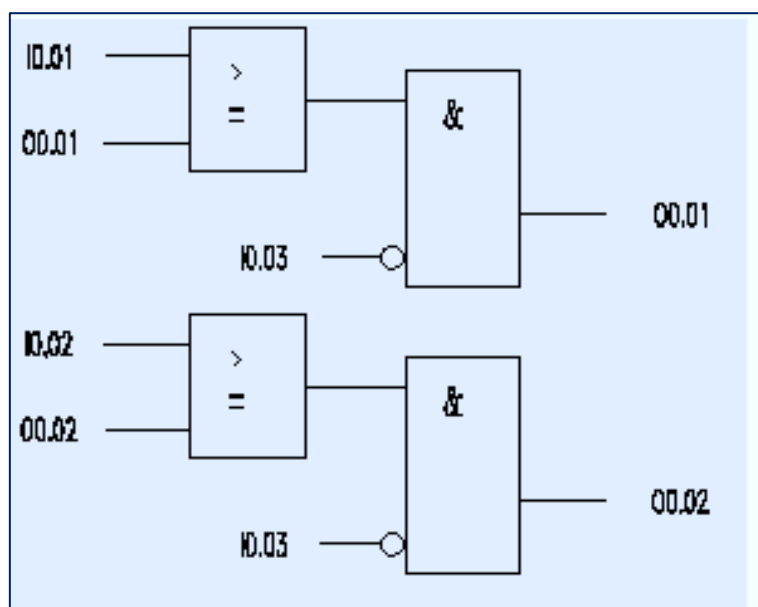


Figura. 1.27 Diagrama de programación en FB

<sup>22</sup> David G. (2001), [<http://www.infoplc.net/sobre-nosotros>], **Actualidad y recursos sobre automatización industrial (2001)**.

## **1.6 SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS**

Sin duda alguna las computadoras han jugado un papel determinante en el desarrollo de muchos campos de la ciencia, uno de ellos, el campo industrial que no solo usa las computadoras para su desarrollo sino que las ha convertido en parte misma de la industria.

Las computadoras se han abierto camino en el campo industrial a tal punto que las empresas de hoy en día confían en sistemas de producción basados en computadoras, conjugando PCs para supervisar y controlar el proceso y pequeños autómatas encargados de tareas simples en donde es necesaria una respuesta rápida en tiempo real.

Todo esto implica el empleo de redes industriales y buses de campo que unan todos los dispositivos entre si y permitan un total control del sistema desde un simple facilitando la labor de desarrollo y supervisión, de aquí que han surgido los denominados sistemas de control y supervisión los que permiten tener control sobre dispositivos ubicados en sitios lejanos al centro de control y proveer información para satisfacer las necesidades de quien es el objetivo del desarrollo, el ser humano.

### **1.6.1 SISTEMAS SCADA**

Un sistema SCADA (Sistema de Control, Supervisión y Adquisición de Datos) es un sistema de control, medición y monitoreo que consiste en una estación maestra (MTU), una o más unidades remotas para control y recolección de datos de campo (RTUs) y un conjunto de paquetes de software usados para monitorear y controlar a los elementos remotamente localizados. Un sistema SCADA provee toda la información que se genera en el proceso productivo a los diversos usuarios.

Un sistema SCADA es usado para controlar y monitorear una planta o equipo, el control puede ser automático o iniciado por comandos del operador.

La adquisición de datos es iniciada por las RTUs que hacen un barrido u exploración a alta velocidad de las entradas de campo conectadas a las mismas, posteriormente el MTU hace un barrido de los datos de la RTUs a menor velocidad, de esta manera el dato es procesado.<sup>23</sup>

#### **1.6.1.1 Requisitos de un SCADA**

Un SCADA debe cumplir con varios objetivos para que su instalación sea perfectamente aprovechada.

Deben ser sistemas de arquitectura abierta, capaces de crecer o adaptarse según las necesidades cambiantes del proceso.

Debe comunicarse con total facilidad al usuario, con el equipo, y con el resto de la planta (redes locales).

Deben ser programas sencillos de instalar, sin excesivas exigencias de hardware y fáciles de utilizar, con interfaces amigables con el usuario.

#### **1.6.1.2 Componentes de un Sistema SCADA**

Básicamente está constituido por los siguientes componentes:

- La estación maestra
- La red de comunicaciones
- Las unidades remotas o PLC's
- La instrumentación de campo
- La interfaz gráfica al operador (HMI)

#### **1.6.2 INTERFAZ HOMBRE MAQUINA HMI**

La interfaz principal al operador es el HMI, una pantalla gráfica implementada bajo un determinado software que permite la representación de la planta o

---

<sup>23</sup> David G. (2001), [<http://www.infoplc.net/sobre-nosotros>], **Actualidad y recursos sobre automatización industrial (2001)**.

equipo y la visualización de los datos de campo de una manera gráfica, otorgando así un interfaz entre el hombre y la máquina para la interpretación del estado del sistema.<sup>24</sup>

Las características principales con la que debe contar un HMI son:

- Visualización de paneles de alarmas que permitan al operador tener un registro de las acciones que se dan en la planta.
- Históricos de las señales de la planta que puedan ser transferidos para su procesamiento a una hoja de cálculo.
- Ejecución de programas que modifiquen la ley de control o incluso el programa total sobre el autómata bajo ciertas condiciones.

Algunos de los programas con lo que se cuenta para el desarrollo de un HMI son los siguientes:

- Intouch de Wonderware Factory Suite
- Lookout y Labview de National Instruments
- WinCC de Siemen

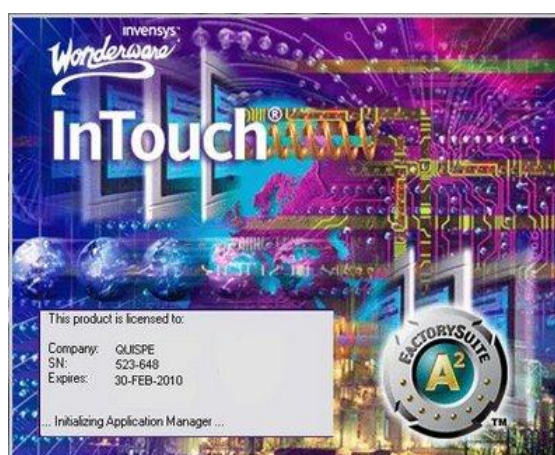


Fig 1.28 Logos de los Programas Lab View e Intouch

<sup>24</sup>

IACI, [http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf],  
Introducción a HMI

## **CAPÍTULO 2**

### **CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO**

## **CAPITULO 2**

### **2 CONSTRUCCIÓN DEL MODULO**

#### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO**

El objetivo principal del presente proyecto es el diseño y construcción de un módulo didáctico para el control de nivel de líquidos (agua) destinado para la realización de prácticas de laboratorio que permita la capacitación del estudiante en control de procesos industriales.

El módulo es básicamente un circuito cerrado de agua, en el cual se suministra líquido desde el tanque secundario hacia otro principal en donde se realiza la medición y el control de nivel. El elemento principal del sistema es un controlador lógico programable, el mismo que adquiere, procesa los datos, y determina las acciones a tomar de acuerdo a las necesidades y requerimientos del usuario.

El bombeo de agua al tanque principal se lo realiza por medio de una bomba, la misma que es alimentada directamente por la red y suministra un caudal constante, mientras que el caudal de salida del tanque principal es controlado por medio de una válvula de control. La medición del nivel de líquido en el tanque principal se la hace mediante un sensor de presión diferencial para gases no corrosivos.

El monitoreo y control del sistema se lo puede realizar ya sea, desde un panel de operador ubicado de forma virtual en la programación , o en forma remota desde un computador comunicado con el PLC por medio de una interfaz gráfica.

El esquema siguiente muestra de manera general el funcionamiento del sistema.



### 2.1.1 Esquema:

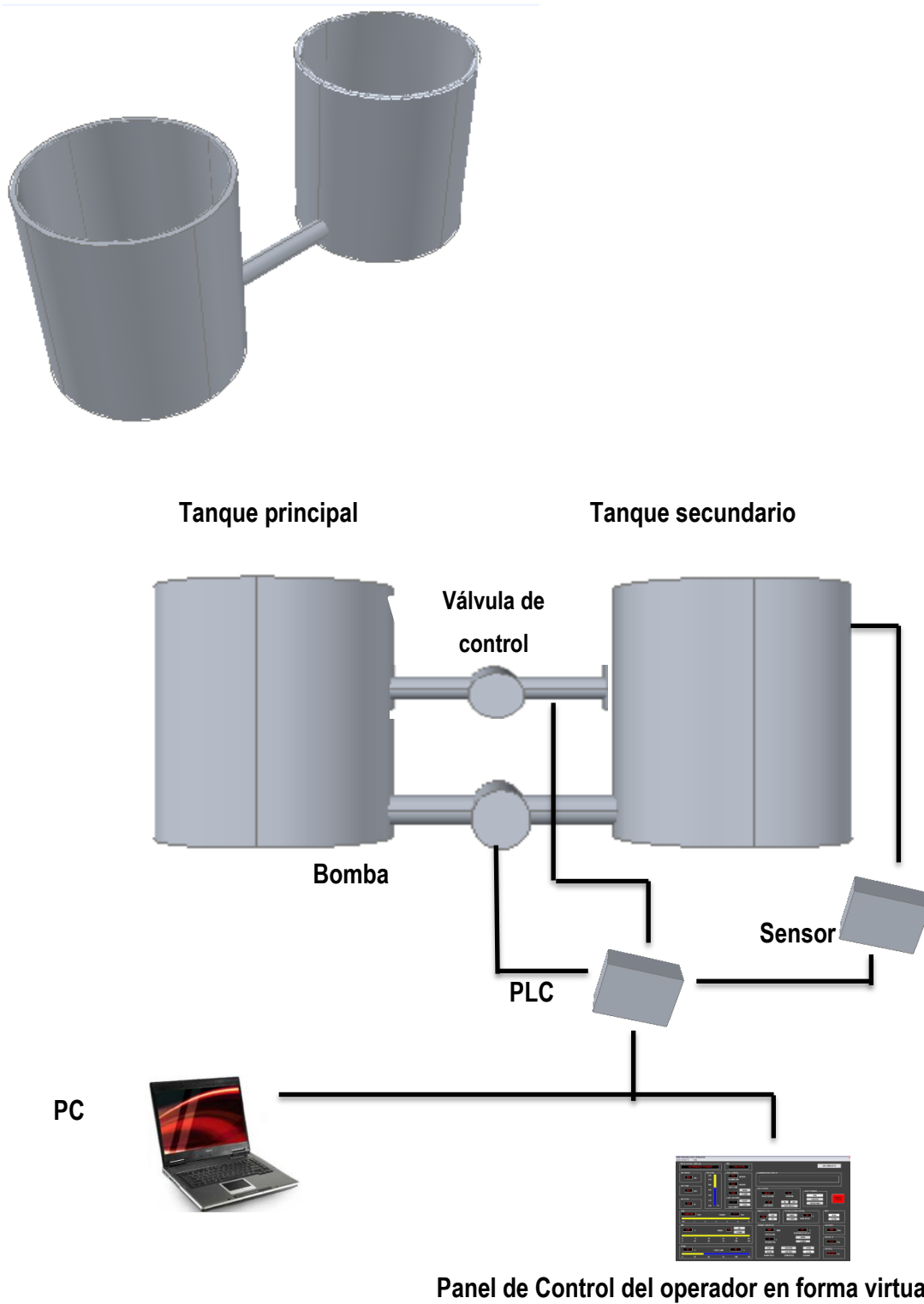


Figura. 2.1 Esquema general de funcionamiento

## 2.2 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

Los elementos principales que conforman el módulo son:

- Controlador Lógico Programable
- Sensor de Nivel
- Válvula de control
- Bomba
- Depósitos

Además el software necesario para:

- Programación del PLC
- Desarrollo de la Interfaz Gráfica
- Comunicación PLC/PC

## 2.3 MODOS DE OPERACIÓN

El módulo permite cuatro modos de operación, el modo bajo el cual funciona está determinado por la selección de uno de los botones MANUAL O AUTOMÁTICO, uno permite seleccionar entre MANUAL/AUTO y los botones que permiten escoger entre la opción PANEL/PC respectivamente. Dependiendo del modo de funcionamiento escogido el usuario puede realizar las siguientes acciones:

### 2.3.1 Modo Manual – Panel Virtual

En el panel de operador

- Bomba: encender o apagar
- Válvula de control: variar porcentaje de apertura
- Visualización: luces indicadoras de sobrenivel, subnivel, y funcionamiento de la válvula de control

En el PC se puede visualizar lo siguiente

- Nivel del líquido
- Porcentaje de apertura de la válvula de control
- Gráficas del proceso
- Históricos del proceso
- Alarmas y Eventos del proceso
- Indicadores de sobrenivel, subnivel, y funcionamiento de la válvula de control.

### **2.3.2 Modo Manual- PC**

En el panel de operador

- Visualización: luces indicadoras de sobrenivel, subnivel y funcionamiento de la válvula de control.

En el PC

- Bomba: encender o apagar
- Válvula de control; variar porcentaje de apertura
- Visualización:
  - Nivel del líquido
  - Porcentaje de apertura de la válvula de control
  - Históricos del proceso
  - Gráficas del proceso
  - Alarmas y Eventos del proceso
  - Indicadores de sobrenivel, subnivel, y funcionamiento de la válvula de control.

### 2.3.3 Modo Automático – Panel

En el panel virtual del operador

- Fijar setpoint de nivel
- Visualización: luces indicadoras de sobrenivel, subnivel, y funcionamiento de la válvula de control.

En el PC se puede visualizar lo siguiente

- Nivel del líquido
- Porcentaje de apertura de la válvula de control
- Históricos del proceso
- Gráficas del proceso
- Alarmas y Eventos del proceso
- Indicadores de sobrenivel, subnivel, y funcionamiento de la válvula de control

### 2.3.4 Modo Automático-PC

En el panel virtual del operador

- Visualización: luces indicadoras de sobrenivel, subnivel y funcionamiento de la válvula de control

En el PC

- Fijar setpoint de nivel
- Visualización :
  - Nivel del líquido
  - Porcentaje de apertura de la servoválvula
  - Históricos del proceso
  - Gráficas del proceso

- Alarmas y Eventos del proceso
- Indicadores de sobrenivel, subnivel y funcionamiento de la válvula de control.

## 2.4 DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL MÓDULO

A continuación se presenta una descripción detallada de cada uno de los componentes principales del equipo, así como criterios para su selección y su función dentro del sistema de control.

### 2.4.1 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

El módulo de control propuesto presenta los siguientes requerimientos mínimos en cuanto a las entradas, salidas y características con las que debe contar el PLC.

- Entradas
  - Selector Manual/Auto (digital)
  - Selector Panel/PC (digital)
  - Motor de la bomba ON/OFF (digital)
  - Sensor de Nivel (analógica 0-10 Vdc)
  - Posición de la válvula de control (analógica 0-10 Vdc)

#### Número total de entradas

Digitales	3
Analógicas	2

- Salidas
  - Luz indicadora Principal (digital)
  - Motor de la bomba ON/OFF (digital)

Número total de salidas

Digitales                    2

Otras características

Alimentación 110-115 VCA 60Hz por ser la disponible en la red local  
operación ONLINE

Para cubrir las necesidades del proceso y por la disponibilidad del equipo y software de programación y desarrollo se selecciona el PLC del fabricante Telemecanique twido TWDLMDA20DRT.

(Datos Técnicos se indican en el anexo 2.1)

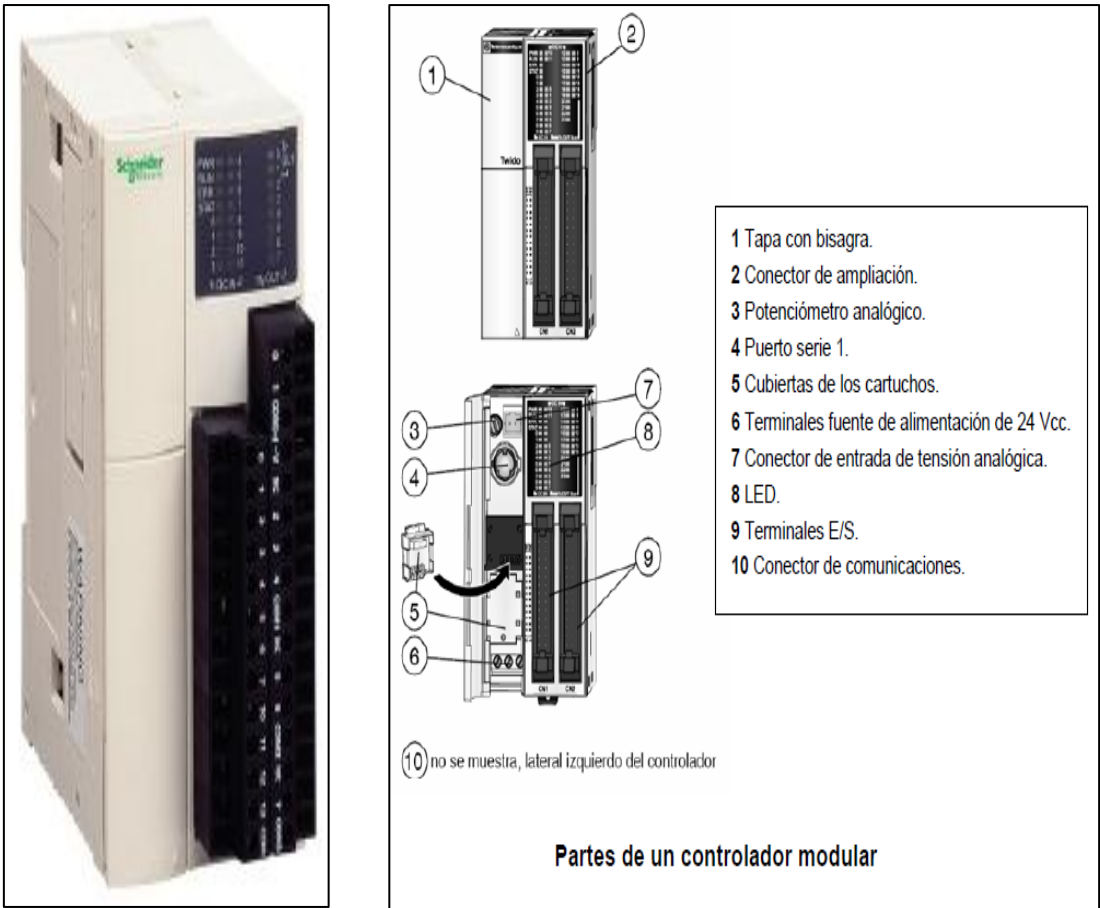


Figura. 2.2 Telemecanique twido TWDLMDA20DRT.

El PLC Telemecanique twido TWDLMDA20DRT posee las siguientes características:

Gama de producto:	Twido
Tipo de producto o componente:	Controlador base modular
Número de E/S digitales:	20
Número de entrada digital:	12
Tensión de entrada digital:	24 V
Tipo de voltaje entrada discreto:	CC
Número de salida digital:	2 para transistor (fuente) 6 para relé
Nº mód. expansión de E/S:	7
Tensión de alimentación:	24 V CC
Uso de la ranura:	Cartucho memoria 32 K o 64 K 1 reloj en tiempo real

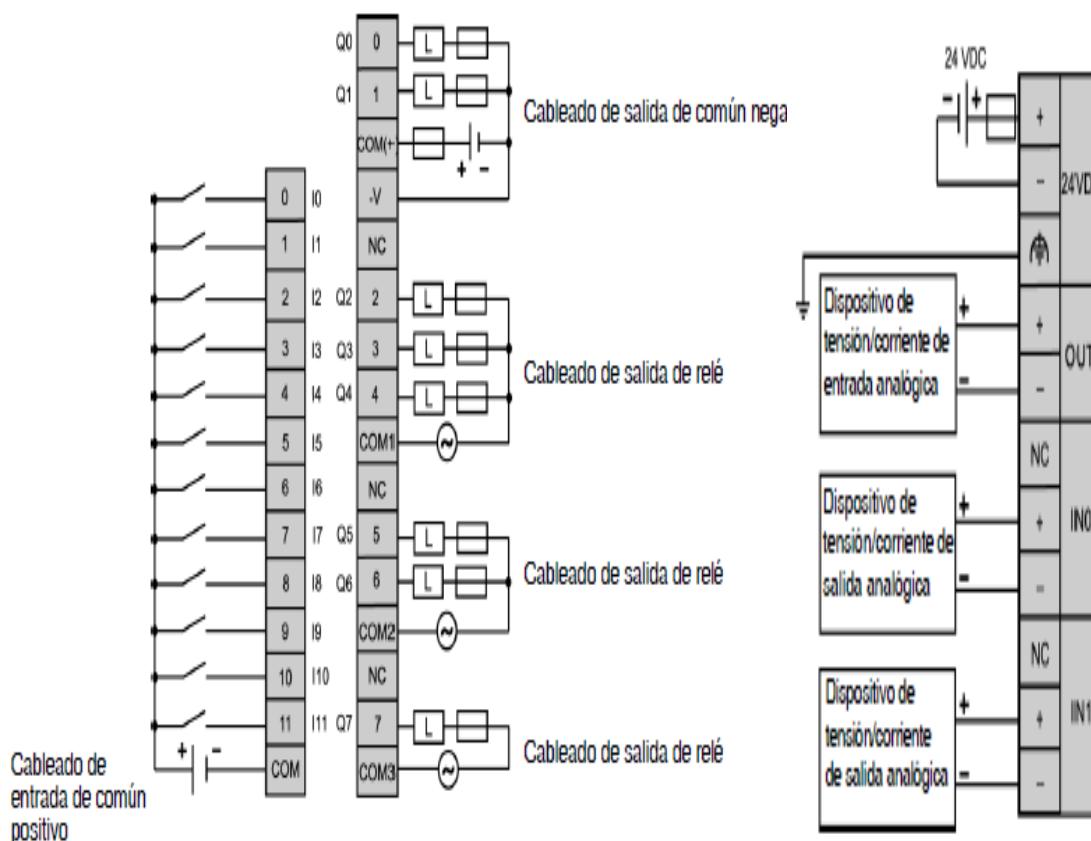


Figura 2.3 PLC Modular Telemecanique twido TWDLMDA20DRT y PLC Analógico Telemecanique twido TWDAMM3HT

## 2.4.2 SENSOR DE NIVEL

La medida de nivel de líquidos en un tanque puede realizarse por varios métodos según el líquido almacenado, el tipo de tanque y la precisión deseada.

Considerando que el módulo tiene la finalidad de representar didácticamente un proceso de control de nivel de agua, además de las dificultades que representa manejar grandes volúmenes de agua por su peso se utiliza un tanque cilíndrico de metal para el tanque secundario y un tanque de acrílico para el tanque principal en donde se visualizará el proceso. Las dimensiones del tanque son  $l = 400 \text{ mm}$  y  $l = 400 \text{ mm}$  y  $h = 750 \text{ mm}$ , tamaño que se considera adecuado para la representación del proceso, medición de la variable, y facilidades en cuanto a espacio físico se refiere.

De lo varios tipos de sensores disponibles se escogió un sensor de presión diferencial por ser ampliamente usado, bajo costo y buenas características de respuesta.

### 2.4.2.1 Cálculo de las características del sensor

Para las dimensiones especificadas del tanque y considerando una presión máxima de una columna de líquido de 60 cm tenemos:

Presión del líquido

$$P_l = \rho_{H_2O} \times g \times h$$

$$P_l = 1000 \text{ Kg/m}^3 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.6 \text{ m}$$

$$P_l = 5.88 \text{ KPa} = 0.0588 \text{ bar} = \mathbf{0.85 \text{ psi relativa}}$$

$$P_{atm} = 101.325 \text{ Kpa} = 1.01325 \text{ bar} = 14.6959 \text{ psi}$$

$$P_{absoluta} = P_l + P_{atm}$$

$$\mathbf{P_{absoluta} = 15.5459 \text{ psi}}$$

Por lo tanto el sensor de presión debe tener una capacidad de medida aproximada de 0 -16 psi de presión absoluta o 0 -1 psi de presión relativa.



Uno de los principales aspectos que determina la selección del sensor de presión diferencial es el costo.

En el mercado local se encontró tipos de sensores utilizados a nivel industrial con costos muy elevados y con rangos de presión que no se ajustan totalmente a las necesidades del proceso, es por esto que se buscó una solución más económica sin dejar a un lado el aspecto técnico y de confiabilidad del equipo, encontrándose el sensor SCX01DN, un sensor de presión diferencial para gases no corrosivos integrado del fabricante SENSYM ICT, que permite una entrada diferencial de 1 psi y una salida lineal de voltaje de 0 a 4.5 Vdc. (Datos técnicos del sensor en el Anexo 2.2)



Figura 2.4 Sensor de presión diferencial SXC01DN

Debido a que la presión que se necesita determinar es la ejercida por el líquido para determinar indirectamente el nivel, se usa una manguera tipo sonda introducida en el tanque la cual transmite la presión producida por la columna de líquido en el fondo del tanque hacia la entrada del sensor a través del aire encerrado en la sonda, como se indica a continuación.

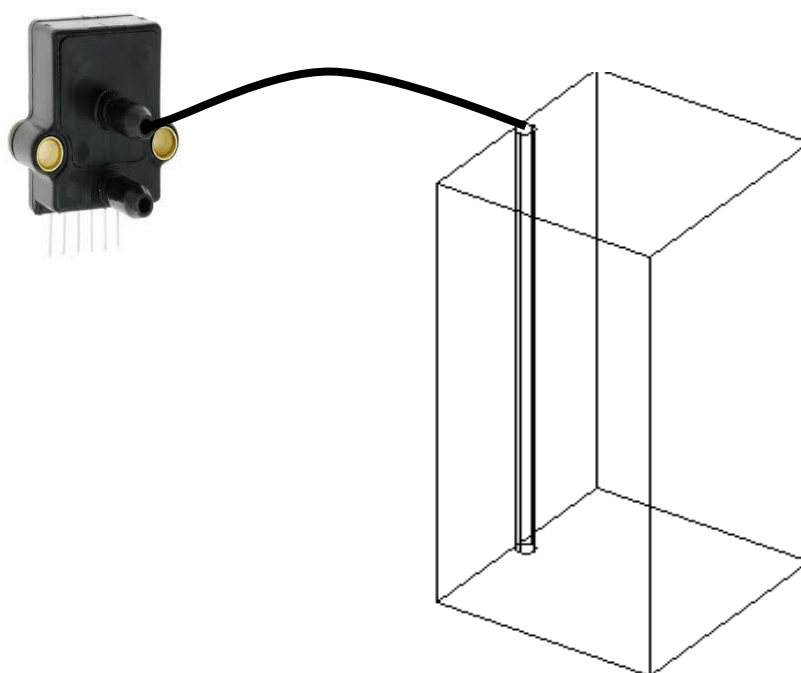


Figura 2.5 Modo de acoplamiento del SCX01DN

El sensor SCX01DN tiene compensación de temperatura y calibración interna lo que da como resultado una salida estable y confiable en el rango de 0°C a 70°C. Consta de un elemento sensor de circuito integrado y una delgada película cortada con láser, empacados dentro de un encapsulado de nylon el cual Presenta una buena resistencia a la corrosión y previene al sensor de deformaciones por fuerzas externas, el encapsulado consta un pequeño tubo de conexión de presión compatible con tubos plásticos estándar.

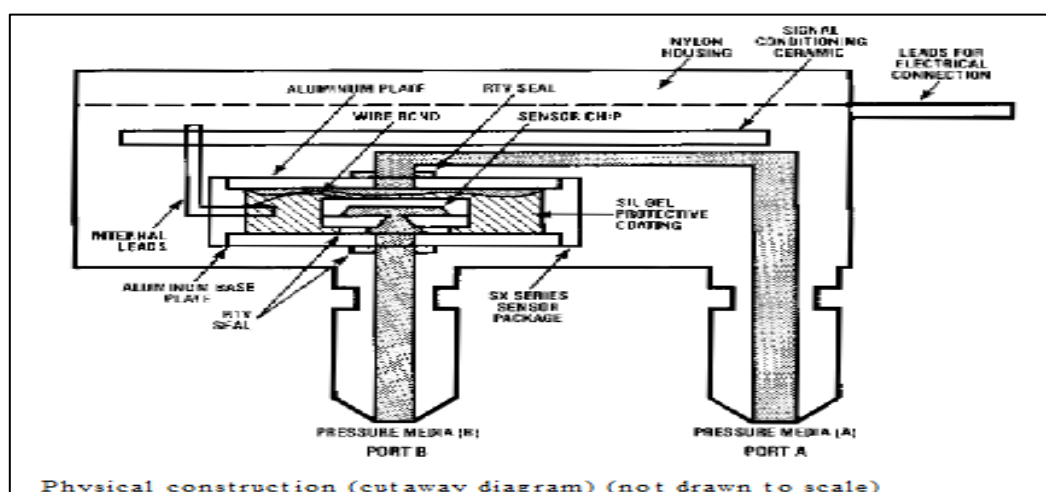


Figura 2.6 Estructura interna del sensor SCX01DN

### 2.4.2.2 Manejo de la señal de salida del sensor

El sensor SCX01DN entrega un voltaje de salida entre 0 y 4.5 Vdc, el que es introducido directamente al PLC.

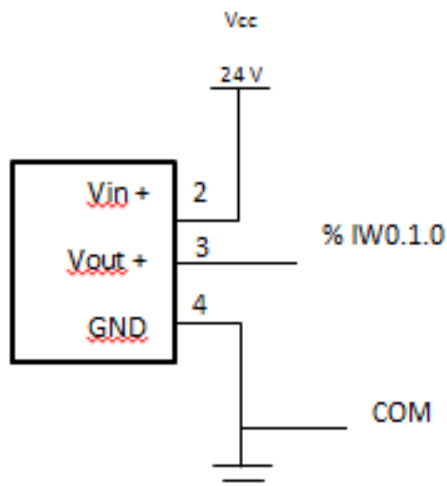


Figura 2.7 Conexión del sensor SCX01DN

### 2.4.3 BOMBA

La bomba es probablemente el componente más importante y menos comprendido del sistema hidráulico. Su función consiste en transformar la energía mecánica en energía hidráulica, impulsando el fluido hidráulico en el sistema.

Las bombas se fabrican en muchos tamaños y formas con muchos mecanismos diferentes de bombeo y para aplicaciones muy distintas. (Anexo 2.3)

Dentro de Módulo de Control de Nivel la bomba básicamente va a proporcionar el caudal de entrada constante al tanque principal por lo que para su selección se toma en cuenta lo siguiente:

- Voltaje de alimentación disponible para la bomba. ( monofásica 110 VAC)

- Potencia de descarga suficiente para elevar el líquido al tanque principal.
- Disponibilidad en el mercado y costos.
- Caudal adecuado para que el tiempo de llenado no sea excesivamente grande.

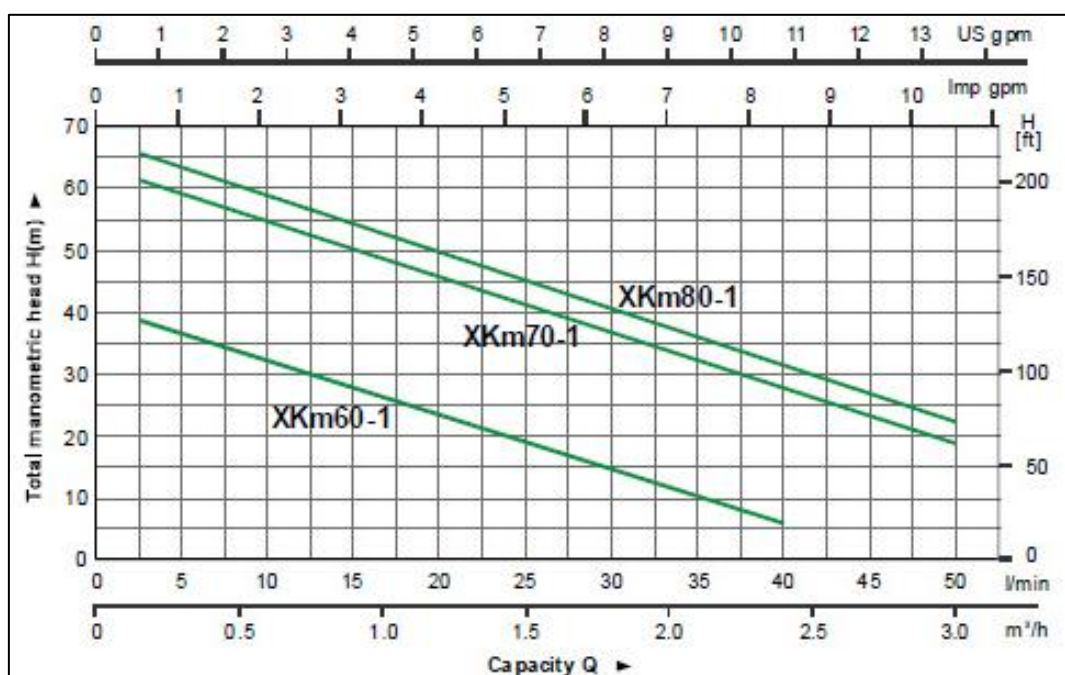
La bomba a adquirirse tiene los siguientes datos de placa.



Caudal Máximo	40 lpm
H máxima	40 m
I nominal	5 A
Voltaje Nominal	110 V 60Hz
Potencia máxima	550 W
Potencia	½ HP

Tabla 2.1 Datos técnicos de la bomba

Curva de rendimiento hidráulico



#### **2.4.4 VÁLVULA DE CONTROL**

Debido a los elevados costos de una servoválvula en el mercado local, se planteó la solución de construir una válvula de control, en la que el cuerpo mismo de la válvula sea adquirido en el mercado y se diseñe el actuador de la misma que controle el porcentaje de apertura de la válvula mediante una señal de control de la misma; como lo hacen las servoválvulas del mercado a diferencia que las últimas generalmente emplean una señal de control de 4 - 20mA , esta es transformada a presión mediante un convertidor IP y es la que determina el porcentaje de apertura o cierre.

A continuación se presenta el criterio de selección de la válvula así como el diseño del actuador.

##### **2.4.4.1 Válvula**

La selección adecuada de una válvula de control implica muchos aspectos como caídas de presión, temperatura de trabajo, tipo de fluido, costos, característica de flujo, etc.

Los materiales de construcción son importantes para el cuerpo y las guarniciones de la válvula, las piezas que hacen contacto con el flujo deben ser compatibles en el aspecto de resistencia y corrosión, para éste caso en el que se maneja agua es conveniente una válvula de acero que no presente problemas de corrosión.

Otros aspectos de consideración es la presión que va a soportar la válvula así como las caídas de presión que tendrá el fluido (perdidas por fricción).

Para éste caso las presiones que debe soportar la válvula son pequeñas considerando que la válvula a adquirir soportaría una presión máxima de 20 bar a la temperatura ambiente y que la presión máxima que debe soportar considerando la atmosférica no sobrepasa los 2 bar.

En cuanto a las pérdidas por fricción, si bien es cierto es un aspecto que debe ser considerado en éste caso sería de menor importancia tomando en cuenta el hecho de que se está realizando un control de nivel de líquido en el tanque y no de caudal a la salida de la válvula, lo que implica que no se consideran las pérdidas por fricción que presenta la válvula.

En cuanto a la temperatura de trabajo no representa problema debido a que el módulo va a estar ubicado en un medio ambiente normal a una temperatura promedio de 20 °C.

Finalmente la característica de flujo de la válvula es un aspecto de gran importancia en su selección. La característica de flujo en las válvulas tiene como objetivo principal indicar como varia la ganancia en la válvula para compensar los cambios en la ganancia del proceso cuando cambian las cargas. En la actualidad se han escrito muchos documentos en los que se indica aspectos de consideración en la selección de la válvula, que dependen del tipo de proceso que se va a controlar y son producto básicamente de la experimentación y la experiencia. Se presenta a continuación una tabla en donde se muestra un análisis dinámico del lazo de control y se determina la característica más adecuada para la válvula de control.

### SISTEMAS DE CONTROL DE NIVEL

CAÍDA DE PRESIÓN EN LA VÁLVULA	CARACTERÍSTICA
$\Delta P$ constante	Lineal
$\Delta P$ decreciente con incremento de carga $\Delta P$ a máxima carga mayor al 20% $\Delta P$ a mínima carga	Lineal
$\Delta P$ decreciente con incremento de carga $\Delta P$ a máxima carga menor al 20% $\Delta P$ a mínima	Porcentaje Igual
Incremento de $\Delta P$ con incrementos de carga $\Delta P$ a máxima carga menor al 200% $\Delta P$ a mínima	Lineal
Incremento de $\Delta P$ con incrementos de carga $\Delta P$ a máxima carga mayor al 200% $\Delta P$ a mínima	Apertura Rápida

Tabla 2.2 Criterios de selección de la válvula de control

Para el módulo de control de nivel se tiene una caída de presión decreciente con incremento de carga por lo que la característica más adecuada de la válvula de control es una característica lineal.

La válvula escogida para dicho efecto es una válvula de bola dos piezas del fabricante CRANE PN25 cuyas especificaciones se hallan en el Anexo 2.4.



Figura 2.8 Válvula de bola CRANE PN25

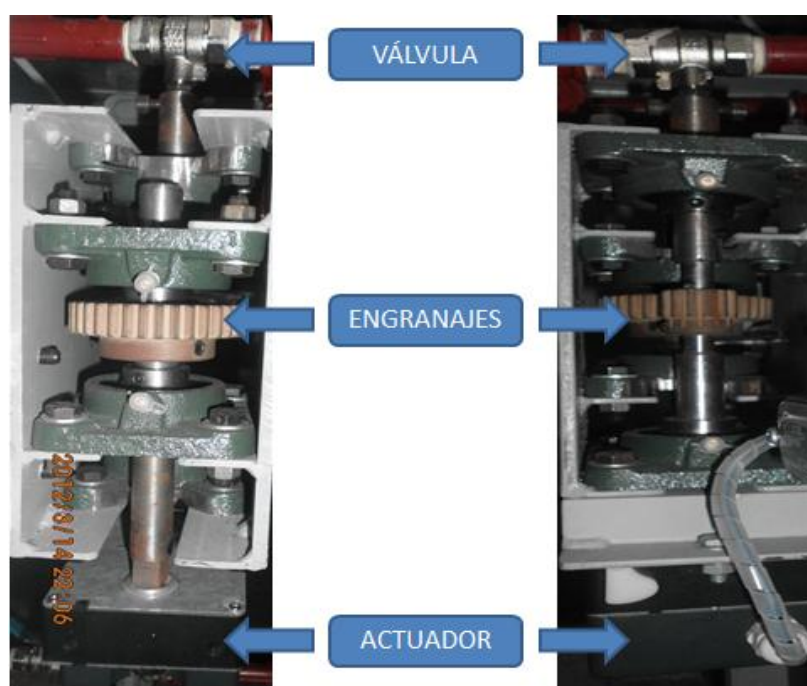
#### **2.4.4.2 Actuador**

Como se indicó los elevados costos de una servoválvula nos llevó a la necesidad de adquirir una válvula y diseñar el actuador de la misma. Con la finalidad de ajustarse a los actuadores de las válvulas del mercado se decidió que la válvula debe recibir una señal de control, con lo que la misma debe posicionarse de tal manera que su porcentaje de apertura varíe entre 0 y 100% respectivamente.

El primer problema que se presentó fue cómo determinar la ubicación del vástago de la válvula para así determinar su porcentaje de apertura; esto se analizó y corrigió con un análisis prueba-error hasta obtener la dirección

correcta del vástago. La válvula admite dar un giro de  $90^\circ$  entre la posición cerrada y abierta, esto permitió acoplar mecánicamente por medio de un juego de engranajes a un actuador que recibe una señal entre 0 y 10 Vcc y cuya apertura oscila entre los  $90^\circ$  y cierra a los  $0^\circ$ .

El eje del piñón está acoplado directamente al vástago de la válvula permitiendo así el movimiento del mismo, ya sea en sentido horario ó antihorario dependiendo del sentido de giro del actuador. El período en el actuador de 24 V AC va a ser alimentado es controlada por las salida %QW0.1.0 del PLC por medio de una sección de control que lee una palabra obtenida del setpoint y compara con la señal del sensor esto permite abrir cerrar el actuador.



a) Vista Frontal

b) Vista Posterior

Figura 2.9 Válvula de control implementada

El cálculo dimensional de los engranajes se encuentra en el Anexo 2.5

El actuador utilizado es del fabricante DWYER el cual se obtuvo en el mercado local y se acoplo a las necesidades del sistema. El accionador de acoplamiento directo serie DDC es un accionador de retorno sin resorte ideal para el posicionamiento de la válvula.



El accionador DDC está diseñado para aceptar señales de control modulantes de 4 a 20 mA o de 0 a 10 VCC, y son alimentados por 24 VCA. Las unidades DDC tienen una señal de retroalimentación de 0 a 10 VCC de la posición de regulador de tiro.

El accionador genera de 17 a 70 pulg-lb (2 a 8 Nm) de par de torsión.

Entre sus características principales están:

- Montaje directo.
- Indicador de movimiento de accionador.
- Protección contra sobrecargas.
- Señal de control flotante en DDA.
- Señal de control modulante de 4 a 20 mA o de 0 a 10 VCC en DDC.
- Señal de retroalimentación de posición en DDC.
- 60.000 ciclos nominales.

Las especificaciones del actuador usado son:

- **Entrada de conducto:** DDC: 24 VCA,  $\pm 10\%$ , 50/60 Hz, monofásico.
- **Clasificación de gabinete:** DDC: 4 VA.
- **Altitud máxima:** DDC: 4-20 mA o 0-10 VCC.
- **Límites de temperatura:** Embrague magnético
- **Requisitos eléctricos:** 95° (ajustable mecánicamente).
- **Tipo de interruptor:** 0,4" (10 mm) o 0,5" (13 mm).
- **Corriente de carga mínima:** Horario/antihorario.
- **Corriente de fuga:** 17 pulg-lb, 35 pulg-lb, 53 pulg-lb: 110 s.
- **Agujeros de montaje:** NEMA 2 (IP40).



Figura 2.9.1 Actuador implementado

Los datos técnicos del actuador se indican en el Anexo 2.6.

#### **2.4.5 ESTRUCTURA DEL MÓDULO**

El equipo está construido sobre una estructura metálica, la que soporta los elementos constitutivos del módulo y que consta además de un tablero en cuya parte frontal se disponen el selector; luz indicadora principal y paro de emergencia.

En la parte interior del tablero se encuentra el PLC y demás circuitos electrónicos. Los planos referenciales de la estructura se indican en el Anexo 2.7.



Figura 2.10 Estructura del Módulo de Control de Nivel

#### 2.4.5.1 TUBERÍAS Y TANQUES

La tubería utilizada en el módulo es tubería plástica de  $\frac{1}{2}$  pulgada por ser la disponible en el mercado y la más difundida en instalaciones hidráulicas de pequeña magnitud.

Para la alimentación de agua desde el tanque secundario al principal se utiliza tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada con la conexión que se indica en la Figura 2.11

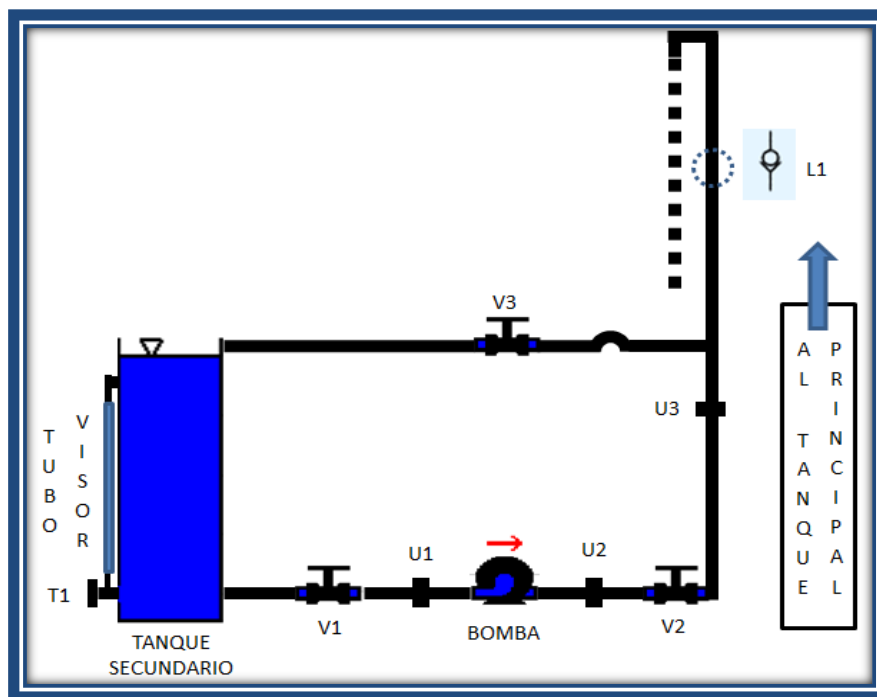


Figura 2.11 Tubería de salida del Tanque Secundario

- T1** Tapón del tanque secundario que permite vaciar totalmente el tanque para mantenimiento.
- L1** Llave de pie utilizada para evitar el retorno del líquido al tanque secundario y como filtro de posibles impurezas en el líquido.
- U1, U2** Acoples universales que permiten desacoplar la bomba para mantenimiento o reparación.
- U3** Acople universal que permite junto con U2 desacoplar la tubería que va al tanque principal para mantenimiento o reparación.
- V1, V2** Válvulas de bola de cuarto de vuelta ( $\frac{1}{2}$  pulgada) que permiten conjuntamente con U1, U2 desacoplar la bomba sin derramar líquido existente ya sea en el tanque secundario o en la tubería posterior a la bomba.
- V3** Válvula de bola de cuarto de vuelta ( $\frac{1}{2}$  pulgada) que permite manejar el caudal de la bomba manualmente.

Dentro de todo proceso de control se pueden presentar perturbaciones que alteran el funcionamiento del sistema, las mismas que deben ser corregidas por el controlador con el fin de mantener la variable controlada en el punto de consigna asignado.

Con el objeto de simular perturbaciones externas el módulo tiene una válvula de desfogue ubicada en la parte inferior del tanque principal y controlada manualmente, el diámetro de la tubería para esta válvula manual fue seleccionada de 1/2" para poder introducir una perturbación apreciable sin llevar al sistema a condiciones de inestabilidad.

Para el ingreso y salida de fluido en el tanque principal se utiliza igualmente tubería de ½ pulgada conjuntamente con la de la salida de perturbación que es tubería de ½ pulgada. La Figura 2.12 muestra las conexiones de tuberías en el tanque principal.

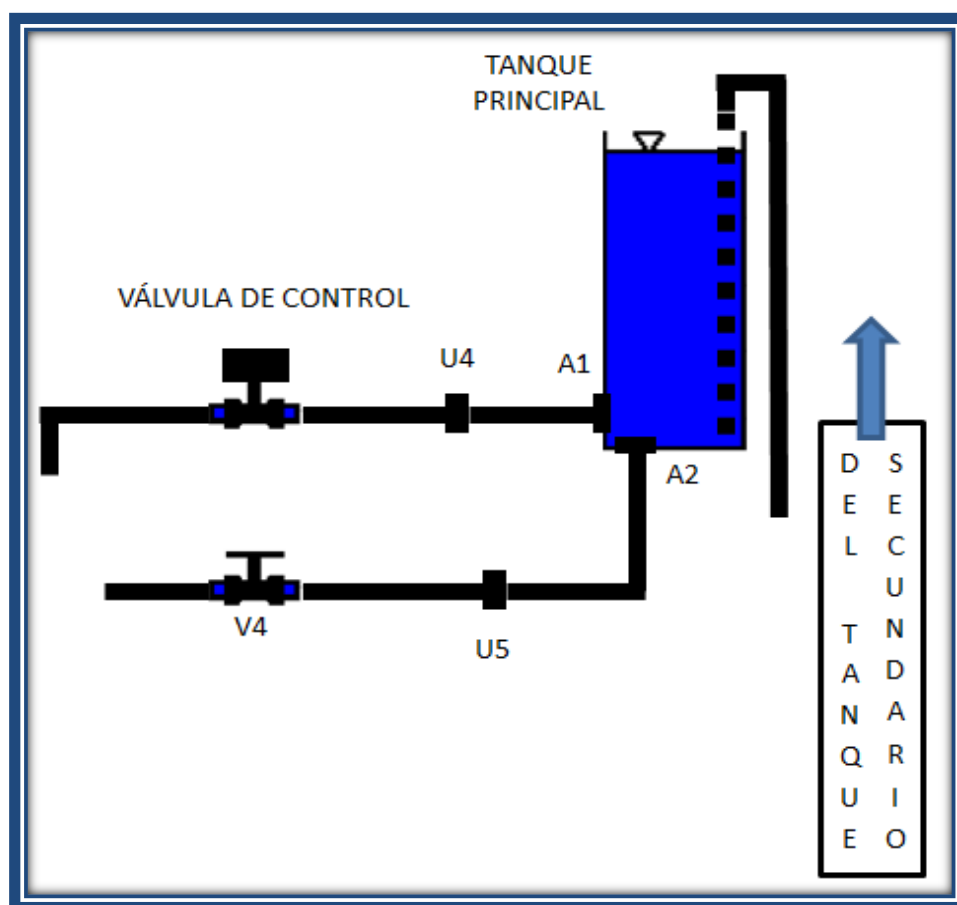


Figura 2.12 Tuberías de salida del Tanque Principal

- A1, A2** Adaptadores de tanque para las salidas de tubería de la válvula de control y de perturbación.
- U4, U5** Acoples universales que permiten desacoplar la tubería para mantenimiento o reparación de la válvula de control o la válvula para perturbaciones respectivamente.
- V4** Válvula de bola de cuarto de vuelta (1/2 pulgada) que permite simular la salida de perturbación y vaciar el tanque principal.

Los tanques utilizados para la reserva de agua (tanque secundario) y para el control de nivel (tanque principal) son los siguientes:

El tanque secundario es metálico y de forma cilíndrica; y el tanque principal es de acrílico para poder observar el nivel del agua de una mejor manera, las dimensiones son las siguientes:

Tanque Secundario	h = 650 mm	$\phi$ = 400 mm
Tanque Principal	a = 400 mm	b = 400 mm    h = 750 mm

Para la visualización del nivel en el tanque secundario se acopla un tubo plástico transparente a las paredes por medio de dos racores, el tubo plástico permite realizar una lectura del nivel. Figura 2.13

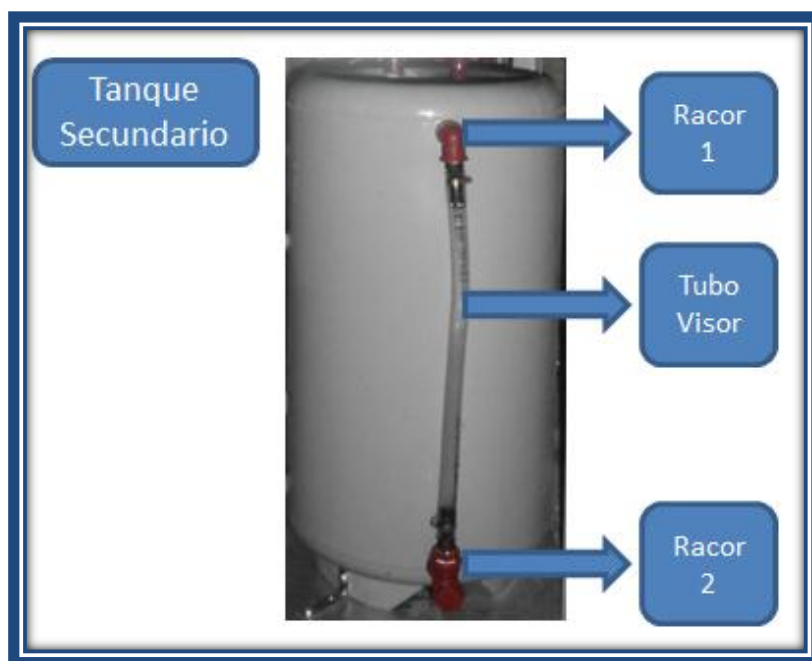


Figura 2.13 Tanque Secundario

#### 2.4.6 TABLERO DE CONTROL

En la parte frontal del módulo tenemos el Tablero de Control en el que se encuentran ubicados elementos como el switch de encendido; luz indicadora principal; paro de emergencia.

La apariencia del tablero exteriormente, y la nomenclatura adoptada para cada uno de sus elementos es la siguiente

1. SP Interruptor Principal
2. LP Luz Indicadora Principal
3. E1 Paro Principal De Emergencia
4. I1 Tomacorriente Externo (110V / 60 Hz)
5. DB9 Conector para Comunicación
6. I2 Alimentación Principal (110V / 60 Hz)

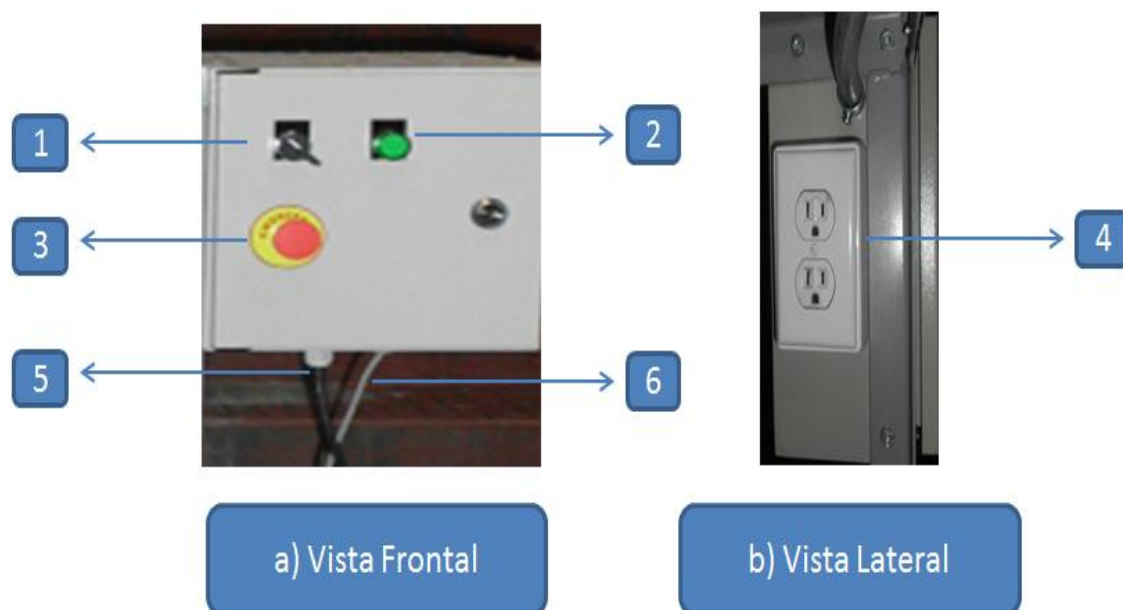


Figura 2.14 Tablero de Control

#### 2.4.7 MANEJO DE LAS ENTRADAS ANALÓGICAS DEL PLC

Las entradas analógicas del PLC requieren valores normalizados entre 0 y 10,5 Vdc, o 0 y 21 mA para un valor decimal de la palabra digital de 0 a 32767. En este caso las entradas analógicas utilizadas en el Módulo de Control de Nivel son las del sensor de nivel que van hacia el PLC.

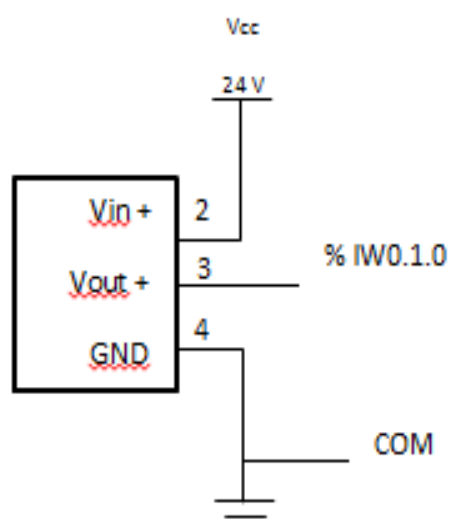


Figura 2.15 Conexión del sensor SCX01DN



El circuito que controla la posición del vástago está dispuesto en la parte interior del Panel de Operador.

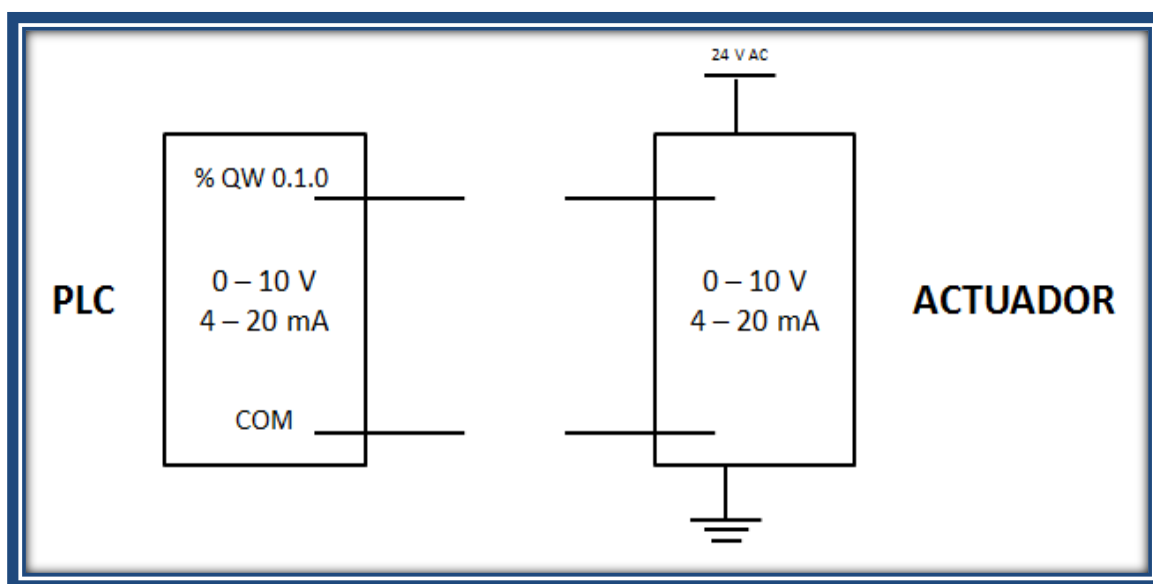
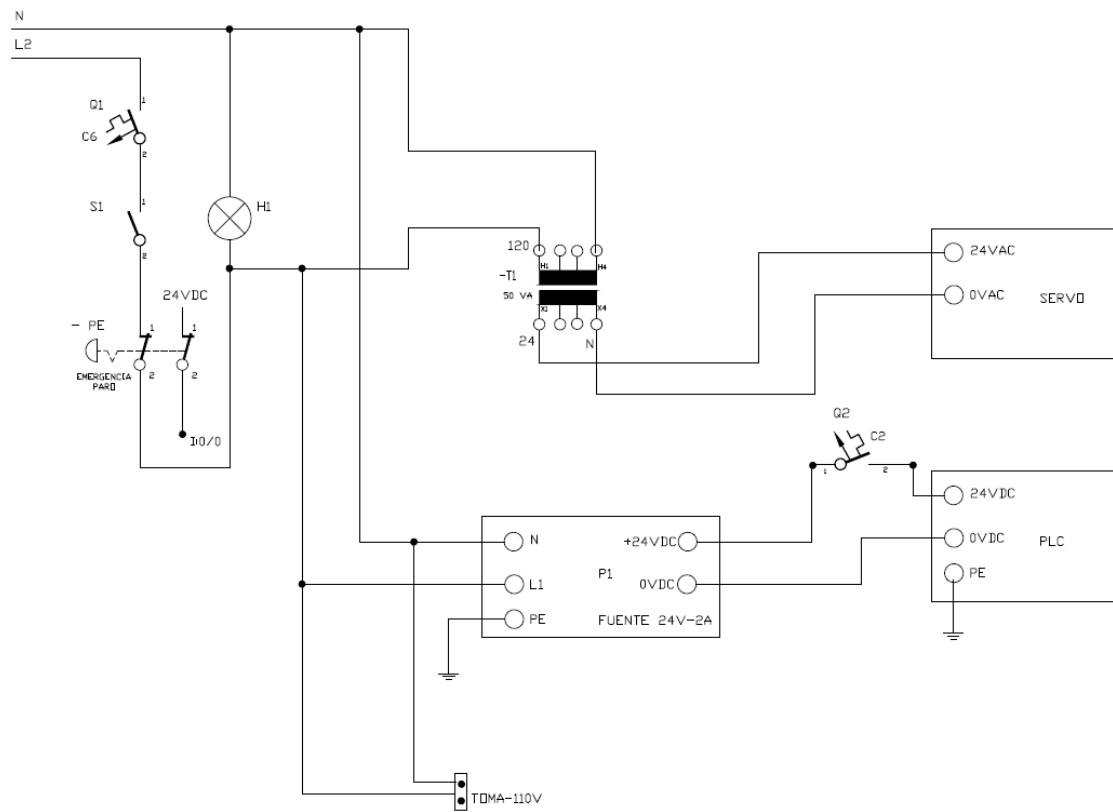


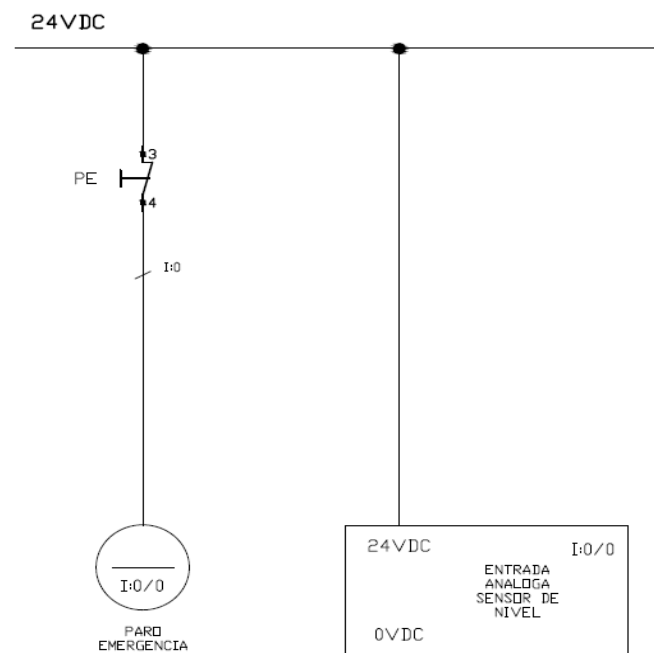
Figura 2.16 Conexión del Actuador

## 2.5 CONEXIONES ELÉCTRICAS DEL TABLERO DE CONTROL

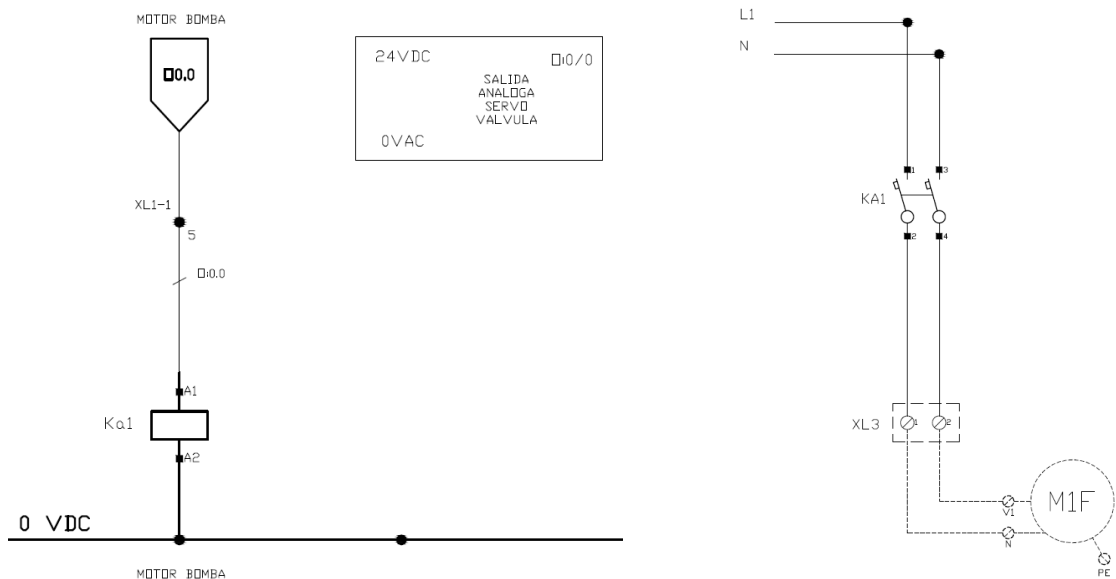
Todas las conexiones eléctricas tanto de alimentación, entradas y salidas del PLC se las realiza en la parte interna del Tablero del Operador. Para la disposición de los cables se usan regletas plásticas dispuestas en el contorno del panel y el cableado se lo realiza con cable 22 AWG recomendado en las hojas de especificaciones del PLC. Para un mejor entendimiento y fácil localización de posibles fallas posteriores en el cableado se numeran los cables de conexión. La representación de los circuitos de conexión y la numeración de los cables se representa en la Figura 2.17 (a, b, c)



### 3.1. Fuentes



### 3.2. Input



3.3. Output

Figura 2.17 Esquemas de Conexión del Tablero de Control

## **CAPITULO 3**

### **DESARROLLO DEL SOFTWARE**

## **CAPÍTULO 3**

### **3. DESARROLLO DEL SOFTWARE**

Como se indicó anteriormente el monitoreo y control del proceso se lo puede realizar desde un computador comunicado con el PLC por medio de una interfaz gráfica.

Para dicho propósito es necesario determinar el software de desarrollo del HMI, así como los protocolos de comunicación correspondientes.

El presente capítulo muestra una descripción del software utilizado, forma de programación y desarrollo de los programas para esta aplicación.

#### **3.1. INTOUCH**

Para la creación de la interfaz gráfica se utiliza el paquete INTOUCH 9.5, uno de los componentes de Wonderware Factory Suite™ que permite la creación de HMI para Microsoft, Windows 95 (o superior) y Windows NT 4.0 (o superior) de manera fácil y rápida.

##### **3.1.1 COMPONENTES PRINCIPALES**

INTOUCH está compuesto de tres programas principales:<sup>25</sup>

###### **3.1.1.1 Intouch Application Manager**

Utilizado para organizar aplicaciones creadas bajo Window Maker y para configurar Window Viewer como un servicio NT.

---

<sup>25</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch User's Guide. Wonderware Corporation .  
Revisión C, Julio 1999.

### 3.1.1.2 Window Maker

Es el llamado ambiente de desarrollo donde objetos orientados y gráficos son utilizados para crear ventanas animadas generalmente con ambientes industriales, estas ventanas pueden ser conectadas con sistemas industriales I/O o con otras aplicaciones de Microsoft Windows.

### 3.1.1.3 Window Viewer

Usado para mostrar en tiempo real las ventanas animadas creadas en Window Maker. Además incluye un programa de diagnóstico Wonderware Logger.

## 3.1.2 CARACTERÍSTICAS

- Fácil manejo de todas las propiedades de las ventanas desarrolladas en *Window Viewer* por medio del Application Explorer que permite acciones como abrir o guardar ventanas, acceso rápido a todas las propiedades vinculadas con las mismas y más.<sup>26</sup>
- INTOUCH puede soportar por arriba de 61405 tagnames que son las variables locales o remotas que van a ser utilizadas en el desarrollo de las ventanas.
- Permite la creación de Scripts, que son programas que utilizan instrucciones básicas de programación como **AND, OR, NOT, IF...ELSE**, etc. que manejan tagnames para determinar condiciones de funcionamiento del HMI.
- Uso del protocolo *SuiteLink* que maneja comandos de aplicación (leer, escribir, descargar) y sus datos asociados para ser pasados entre aplicaciones de cliente y aplicaciones de servidor.

---

<sup>26</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch User's Guide. Wonderware Corporation .  
Revisión C, Julio 1999.

- Facilita el trabajo en red por medio de la utilización del software *Wonderware NetDDE*.

### 3.1.3 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE SISTEMA

Para ejecutar adecuadamente INTOUCH son recomendadas las siguientes especificaciones de sistema

- Procesador Pentium 100 o superior
- 100 MB mínimo libres en disco duro
- 32 MB de RAM mínimo
- Artículo de punteo (mouse, touch screen, etc.)
- Sistema operativo: Microsoft Windows 95 ( o superior) o Windows NT 4.0 SP4 (o superior)

### 3.1.4 INICIANDO INTOUCH

Una vez que el software es instalado en el computador un archivo .EXE es agregado a la barra del menú inicio (inicio/programas/wonderware factory suite/in touch.exe), el mismo que permite iniciar el programa abriendo primeramente *Intouch-Application Manager* como se indica en la Figura 3.1 <sup>27</sup>

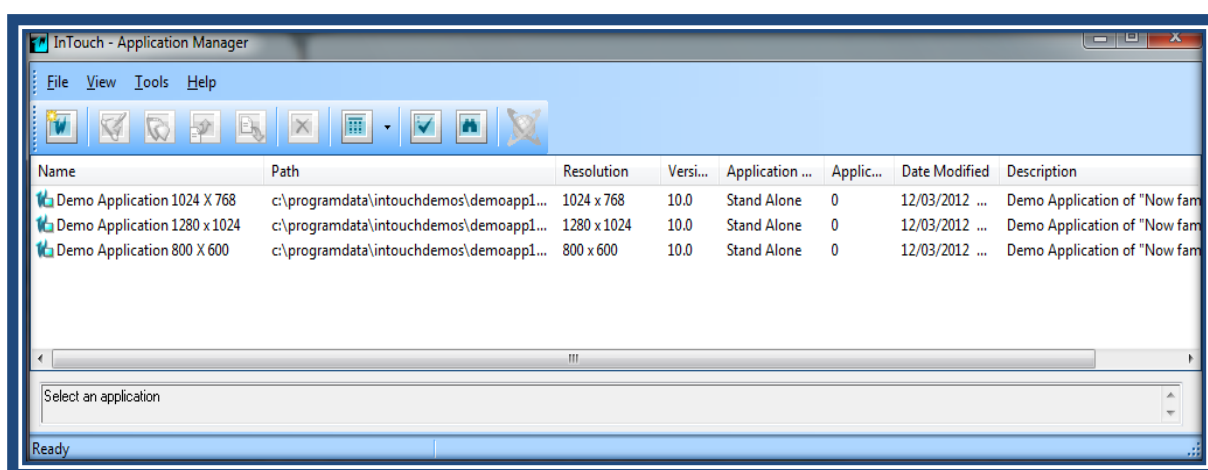


Figura 3.1 *Intouch Application Manager*

<sup>27</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch User's Guide. Wonderware Corporation .  
Revisión C, Julio 1999.

### 3.1.4.1 Creación de una nueva aplicación

La ventana de *Intouch Application Manager* permite realizar comandos básicos de edición como abrir, crear, renombrar, borrar aplicaciones.

Para crear una nueva aplicación existen dos formas

- En el menú File seleccionar New
- Click en el icono de New Application



A continuación la siguiente ventana de diálogo aparece:

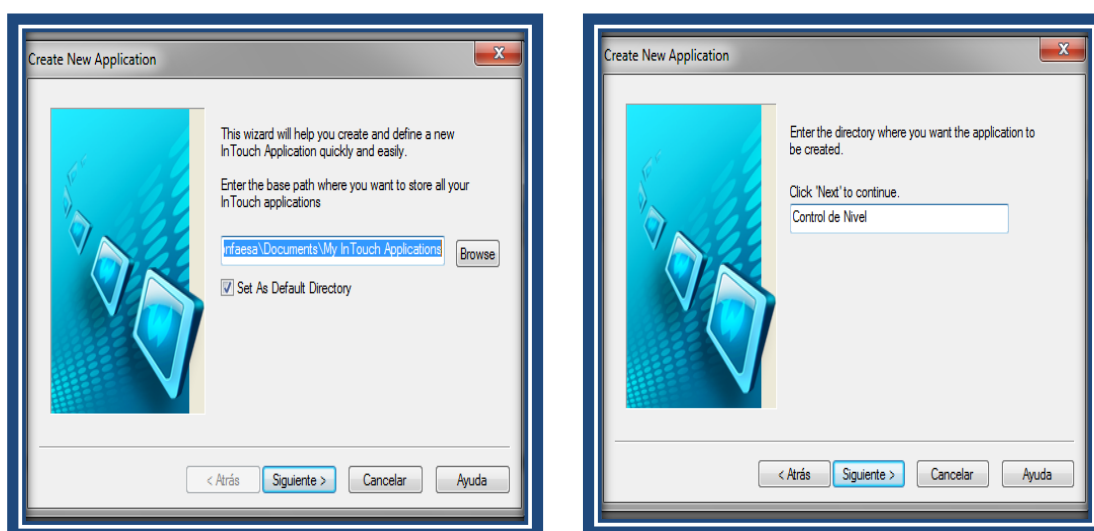


Figura 3.2 Ventanas de creación de nueva aplicación

Esta ventana de diálogo nos permitirá crear una nueva aplicación de manera fácil y rápida. Una vez que la nueva aplicación es creada, ésta aparece con el nombre asignado en el listado de aplicaciones en el *Intouch Application Manager*.<sup>28</sup>

### 3.1.4.2 Edición una nueva aplicación

Para editar una aplicación es necesario abrir *Window Maker*, para esto se debe hacer doble-click en el nombre de la aplicación que deseamos editar desde *Intouch Application Manager*.

<sup>28</sup> Ibidem



El nombre de la aplicación para el presente proyecto de titulación “*MODULO DE CONTROL DE NIVEL*”

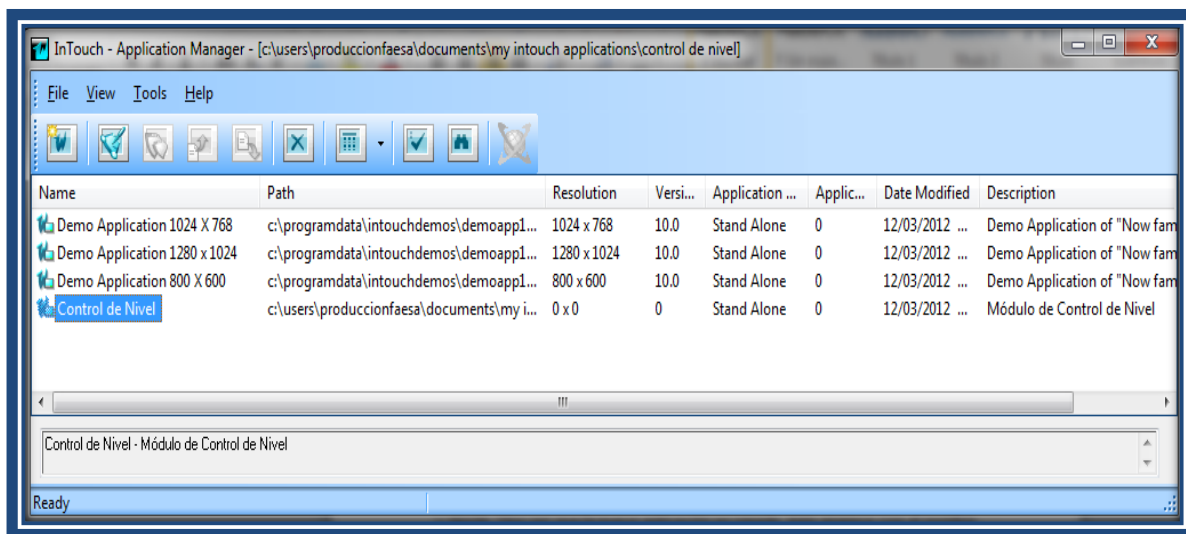


Figura 3.3 *InTouch Application Manager* con la aplicación " Control de Nivel"

*Window Maker* es el ambiente de desarrollo para Intouch, este programa nos permite editar la interfaz gráfica para nuestra aplicación, al igual que todos los programas que soporta Windows es muy amigable con el usuario, permite el acceso a las herramientas por medio de barras (barra de edición, de dibujo, general, de estado, regla, etc.) o comandos preestablecidos para un rápido acceso.

Consta además de una herramienta secundaria *Application Explorer* que permite tener una vista gráfica de la aplicación y tener un fácil acceso a todos los ítems de los que está compuesta la misma.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Ibidem

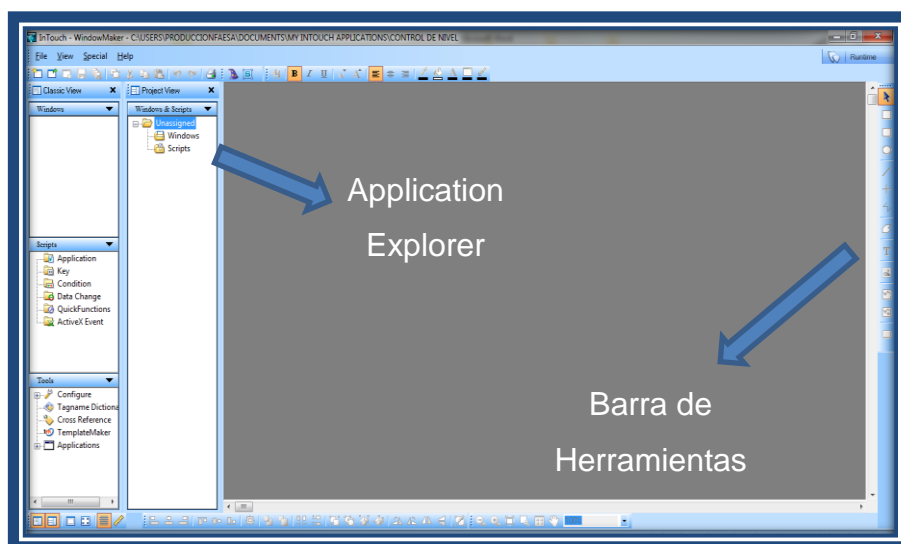


Figura 3.4 *Intouch Window Maker*

### 3.1.4.3 Creación de Ventanas

Un HMI diseñado en base a Intouch consta básicamente de una o varias ventanas en las cuales se van a disponer elementos (botones, selectores, sensores, actuadores, válvulas, tanques, tuberías, etc.) con la finalidad de crear un ambiente industrial que esté acorde al proceso real que se quiere representar.<sup>30</sup>

Para crear una nueva ventana desde *Window Maker* existen tres formas:

- En el menú File seleccionar New Window
- Usar el comando Control + N
- Click en el icono de New Window



A continuación la siguiente ventana de diálogo aparece:

<sup>30</sup> Ibidem

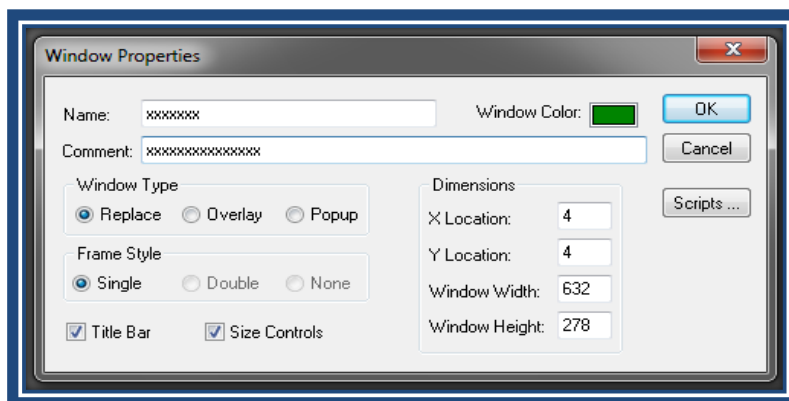


Figura 3.5 Ventana de diálogo para creación de nueva ventana

En esta ventana podemos determinar las características que deseamos para la ventana como se indica a continuación:

**Name** Título de la ventana que aparecerá en la barra de título.

**Comment** Comentario asociado con la ventana (Opcional)

**Window Color** Color de la ventana.

**Window Type** Selecciona el tipo de ventana que se desea usar.

**Replace** Automáticamente cierra cualquier otra ventana cuando ésta aparece.

**Overlay** Aparece encima de cualquier ventana activa pero permite alternar entre ellas con solo dar click en una porción de la ventana que se requiera.

**Popup** Similar a una *Overlay Window* con la diferencia que ésta siempre permanece encima de las otras ventanas.

**Frame Style** Selecciona el tipo de borde que tendrá la ventana.

**Single** Borde 3D que permite tener barra de título y controles de tamaño.

<b>Doble</b>	Borde 3D sin barra de título ni controles de tamaño
<b>None</b>	Ventana sin borde que no puede ser manipulada en su tamaño.
<b>Title Bar</b>	Muestra el título de la ventana.
<b>Size Controls</b>	Permite modificar el tamaño de la ventana.
<b>Dimensions</b>	Determina las coordenadas XY en píxeles de localización de la ventana así como el tamaño de la misma.
<b>Scripts</b>	Permite acceder al editor de Scripts para la ventana, la misma que puede asociarse con tres tipos de scripts.
<b>On show</b>	Ejecuta el script una vez cuando la ventana es mostrada
<b>While showing</b>	Ejecuta el script permanentemente a una determinada frecuencia mientras la ventana es mostrada.
<b>On hide</b>	Ejecuta el script una vez cuando la ventana se cierra <sup>31</sup>

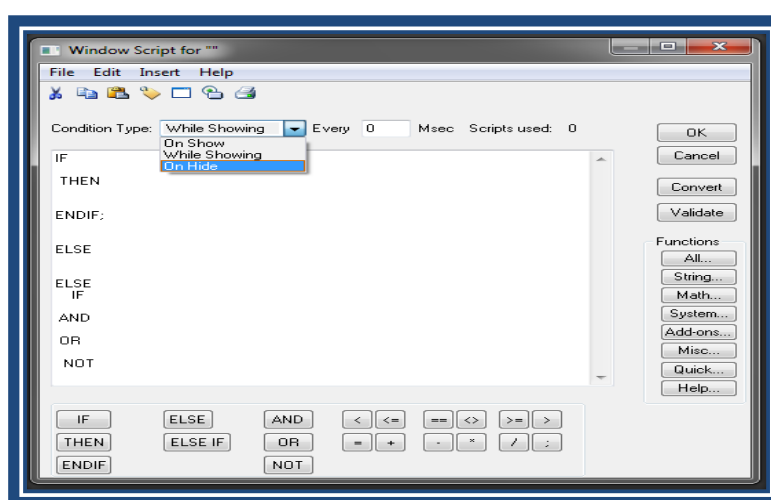


Figura 3.6 Editor de Scripts de ventanas

<sup>31</sup> Ibidem

### 3.1.4.4 Creación de Objetos Gráficos

*Window Maker* está provisto de numerosas herramientas que permiten editar y ordenar los diversos gráficos que pueden ser dibujados o pegados dentro de la ventana creada en una aplicación.

Las barras de herramientas disponibles son las siguientes:

#### 3.1.4.4.1 Draw Object Toolbar

Contiene las herramientas de dibujo que son usadas para crear gráficos e ingresar texto en las ventanas.<sup>32</sup>

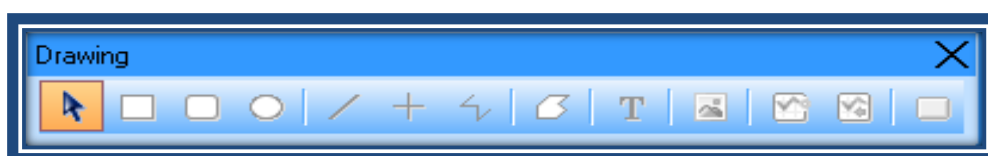


Figura 3.7 Barra de herramientas de dibujo

#### 3.1.4.4.2 View Toolbar

Contiene la herramienta de medida (regla) que puede ser usada para alinear gráficos en la ventana.

Además tiene iconos para hacer visible o no *Application Explorer*, una plantilla para la ventana y modo de visualización en pantalla completa.<sup>33</sup>

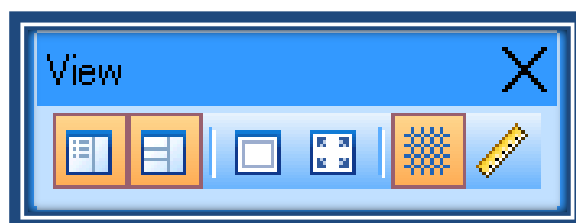


Figura 3.8 Barra de Modo de Visualización

<sup>32</sup> Ibidem

<sup>33</sup> Ibidem



### 3.1.4.4.6 Wizards/Active X Toolbar

*Wizards* son gráficos prediseñados con propiedades particulares que pueden ser pegados dentro de la ventana. Son fáciles de configurar y salvan una gran cantidad de tiempo en el momento de crear una aplicación.<sup>34</sup>

Para acceder a los Wizards existentes se debe dar click en el icono correspondiente

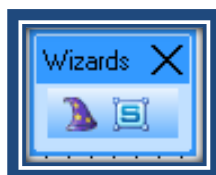


Figura 3.12 Icono de Wizards

Dentro de la ventana de Wizards tenemos una gran variedad de grupos de selección cada uno de los cuales consta con diferentes tipos de gráficos correspondientes a cada clase.

Para colocar el *wizard* en la ventana se lo debe seleccionar y presionar OK. Si un *wizard* va a ser de uso frecuente éste puede ser agregado a la barra de herramientas *Wizards/Active X Toolbar* con solo ser seleccionado y presionar el botón *Add to toolbar*.

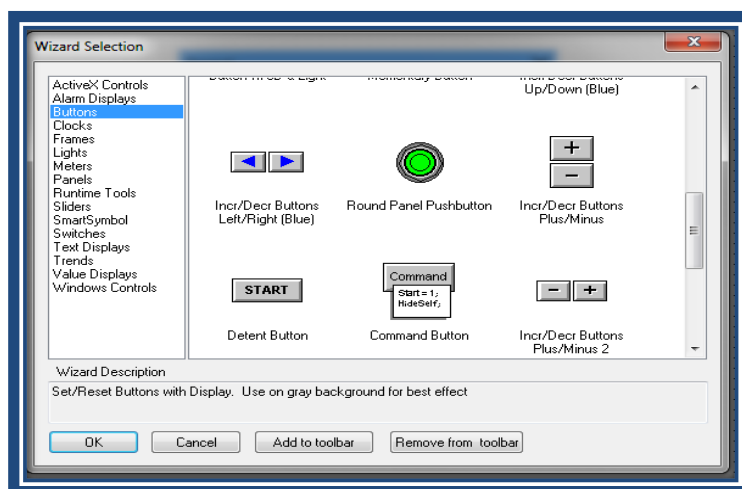


Figura 3.13 Ventana para selección de Wizards

<sup>34</sup> Ibidem

Uno de los grupos de selección de *Wizards* de gran ayuda para crear un HMI es el *Symbol Factory*, debido a que este consta con gran variedad de dibujos de carácter industrial (tuberías, tanques, motores, válvulas, sensores, transmisores, etc.) y que permiten crear aplicaciones semejantes a las plantas industriales reales, logrando así una apariencia agradable y llamativa para el operador.

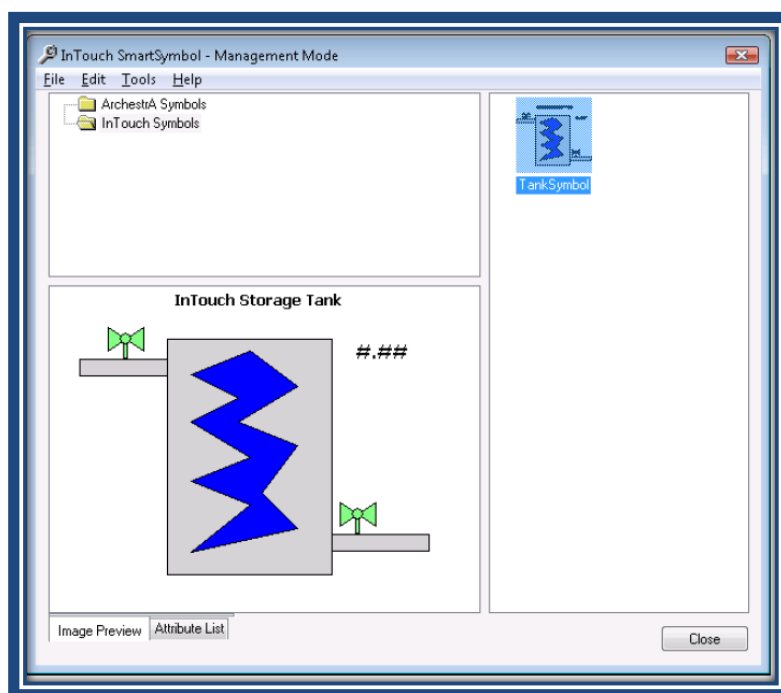


Figura 3.14 Ventana de Wizards de Simbol Factory

Para la creación de la interfaz gráfica se debe tomar en cuenta las necesidades del usuario en cuanto a visualización, es decir el proceso debe estar representado de manera clara y acorde con la distribución física del equipo, además debe tener un entorno llamativo para el usuario a fin de que éste se sienta atraído y motivado al uso del HMI.<sup>35</sup>

Tomando en cuenta dichas consideraciones y usando las herramientas de creación de ventanas y objetos gráficos se diseña una ventana principal que se muestra a continuación.

<sup>35</sup> Ibidem



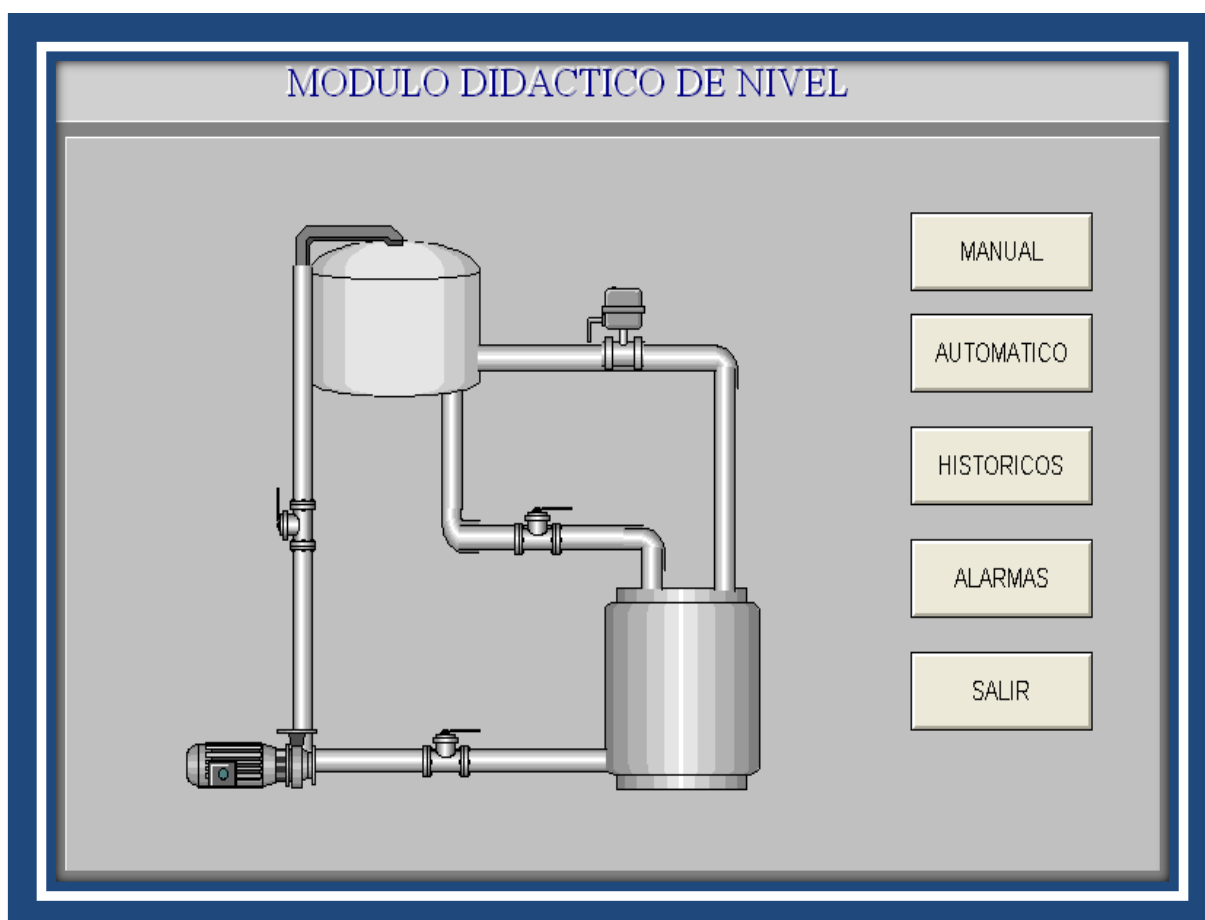


Figura 3.15 Ventana Principal Módulo de Control de Nivel

#### 3.1.4.5 Tagnames

Todas las variables locales y remotas que van a estar vinculadas con gráficos creados por medio de la barra de herramienta de dibujo, propiedades de los *wizards*, scripts, etc. deben ser configuradas para que ingresen a la base de datos de Intouch con el fin de crear una base de datos que permita visualizar la aplicación en *Window Viewer*.

Todas estas variables que utiliza la aplicación reciben el nombre de tagnames. Cada tagname debe ser asignado dentro de un tipo específico dependiendo de su uso.<sup>36</sup>

*Intouch* soporta los siguientes tipos de tagnames:

<sup>36</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation . Revisión C, Julio 1999.

### 3.1.4.5.1 Memory Tagnames

Este tipo de tagnames son variables que existen internamente dentro de la aplicación de Intouch, son usadas para crear constantes del sistema y variables de cálculo que pueden ser utilizadas por otros programas.

Pueden ser de cuatro tipos dependiendo de su formato.<sup>37</sup>

*Memory Discreto* Puede ser 0 (Falso, OFF) o 1 (Verdadero, ON)

*Memory Integer* Es un número entero expresado en 32 bits (puede estar entre  $\pm 2147483648$ )

*Memory Real* Es un número decimal expresado en 32 bits (puede estar entre  $\pm 3.4 \times 10^{38}$ )

*Memory Message* Es una cadena de texto de 131 caracteres de longitud máxima<sup>38</sup>

### 3.1.4.5.2 I/O Tagnames

Todos los tagnames que van a ser escritos o leídos desde PLCs, PCs y redes de comunicación de datos a través de los protocolos DDE (Dynamic Data Exchanged) o *Wonderware SuiteLink* deben ser configurados como I/O tagnames. Existen cuatro tipos de I/O tagnames y tienen los mismos formatos que los *Memory Tagnames*, estos son:

*I/O Discrete*

*I/O Integer*

*I/O Real*

*I/O Message*

---

<sup>37</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation .  
Revisión C, Julio 1999.

<sup>38</sup> Ibidem

### 3.1.4.5.3 Miscellaneous Tagnames

Existen tipos especiales de tagnames, los mismos que son utilizados para desarrollar cierto tipo de funciones como alarmas, históricos, etc. estos son:

*Group Var*

*Hist Tred*

*Tag ID*

*Indirect Discrete*

*Indirect Analog*

*Indirect Message*

*Super Tags*

### 3.1.4.5.4 Creación de un tagname para la aplicación

Para crear un tagname que va a ser utilizado dentro de la aplicación en *Special menú* se selecciona *Tagname Dictionary* o doble click en *Tagname Dictionary* desde *Application Explorer*, con lo que la siguiente ventana de diálogo aparece.

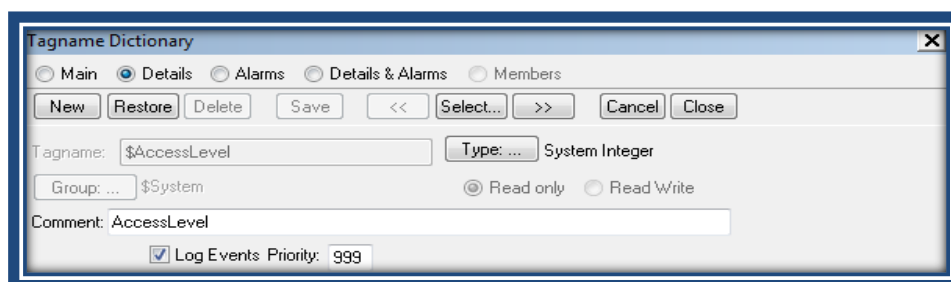


Figura 3.16 Ventana de Tagname Dictionary

En la ventana de *Tagname Dictionary* se selecciona *New* y esta ventana cambia su aspecto permitiendo asignar un nombre al tagname, agregar un comentario (opcional) y seleccionar el tipo de tagname (Type) que se desea utilizar.

Finalmente se presiona *Close* y el nuevo tagname está ya definido.

Cada tipo de tagname tiene detalles específicos que deben ser configurados en el momento de ser definido de acuerdo a las necesidades, sin embargo por defecto Intouch asigna valores predeterminados a cada tipo de tagname.

#### 3.1.4.6 Creación de Animation Links

Una vez que un objeto gráfico es creado dentro de la ventana de aplicación, éste puede ser "animado" es decir puede cambiar su color, visibilidad, ubicación en la ventana, orientación, ser sensible al click del mouse, etc. Para lograr estos efectos es necesario definir *Animation Links* a dicho objeto. Existen dos tipos básicos de *animation links*:<sup>39</sup>

- *Touch Links*.- Un objeto vinculado con un Touch Link es aquel que permite al operador ingresar valores al sistema por ejemplo botones, sliders, selectores, etc.
- *Display Links*.- Son links que permiten crear efectos que van a ser vistos por el operador así como cambio en el color u orientación de un objeto.

Un objeto gráfico puede estar definido con múltiples links con la finalidad de crear cualquier efecto de animación, una manera fácil para asignar links a un objeto es dando doble click en el mismo, así la siguiente ventana de diálogo aparece.

---

<sup>39</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation .  
Revisión C, Julio 1999.

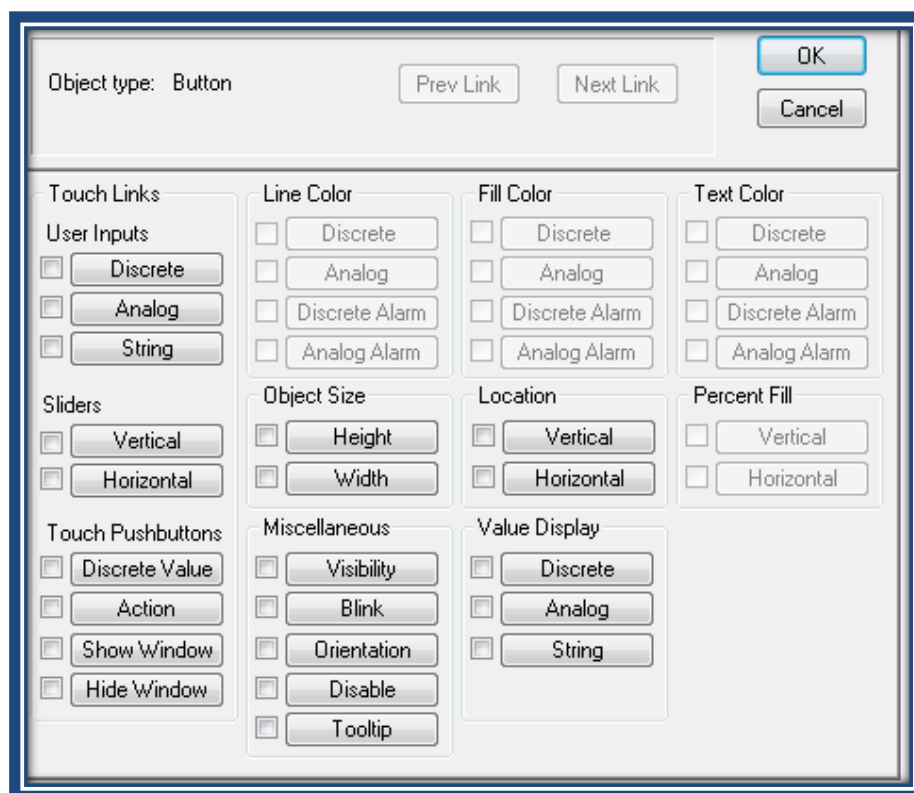


Figura 3.17 Ventana de selección de *Animation Links*

## 3.2 DISEÑO DE VENTANAS PARA EL HMI DEL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL

Para el presente proyecto y con la finalidad de que el operador tenga un ambiente amigable y esté posibilitado de controlar y visualizar íntegramente el proceso de control de nivel en el momento de operar el HMI se crearon ventanas animadas, y cuya descripción detallada se muestra a continuación.

### 3.2.1 PRESENTACIÓN

Después del ingreso satisfactorio al HMI está la ventana "PRESENTACIÓN" (Figura 3.18) en la que se muestra un texto básico de información acerca del proyecto de titulación.



Figura 3.18 Pantalla "PRESENTACIÓN"

En esta pantalla está ubicado el botón "INGRESAR" al que está vinculado el link (Touch Pushbuttons / Show Window) el que permite mostrar una segunda ventana en el momento que es presionado.

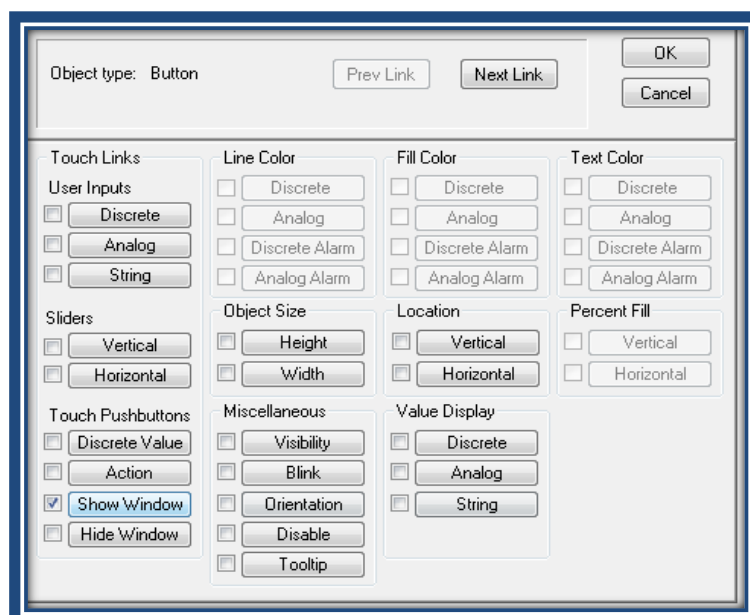


Figura 3.19 Ventana de links para el botón " INGRESAR " de la ventana  
PRESENTACIÓN

### 3.2.2 CONTRASEÑA

Es la primera ventana que aparece en el HMI; en esta ventana se muestra el registro del usuario con el cual tiene acceso a la ventana "PROCESO" que se detalla a continuación; para poder tener acceso se deben ingresar los siguientes datos

USUARIO :	UPS
CONTRASEÑA :	SALESIANA

### 3.2.3 PROCESO

Una vez que el usuario hace click en el botón ingresar da la pantalla "PRESENTACIÓN" puede acceder a la ventana "PROCESO" en la cual se muestran los botones MANUAL; AUTOMÁTICO; HISTÓRICOS; ALARMAS; SALIR.

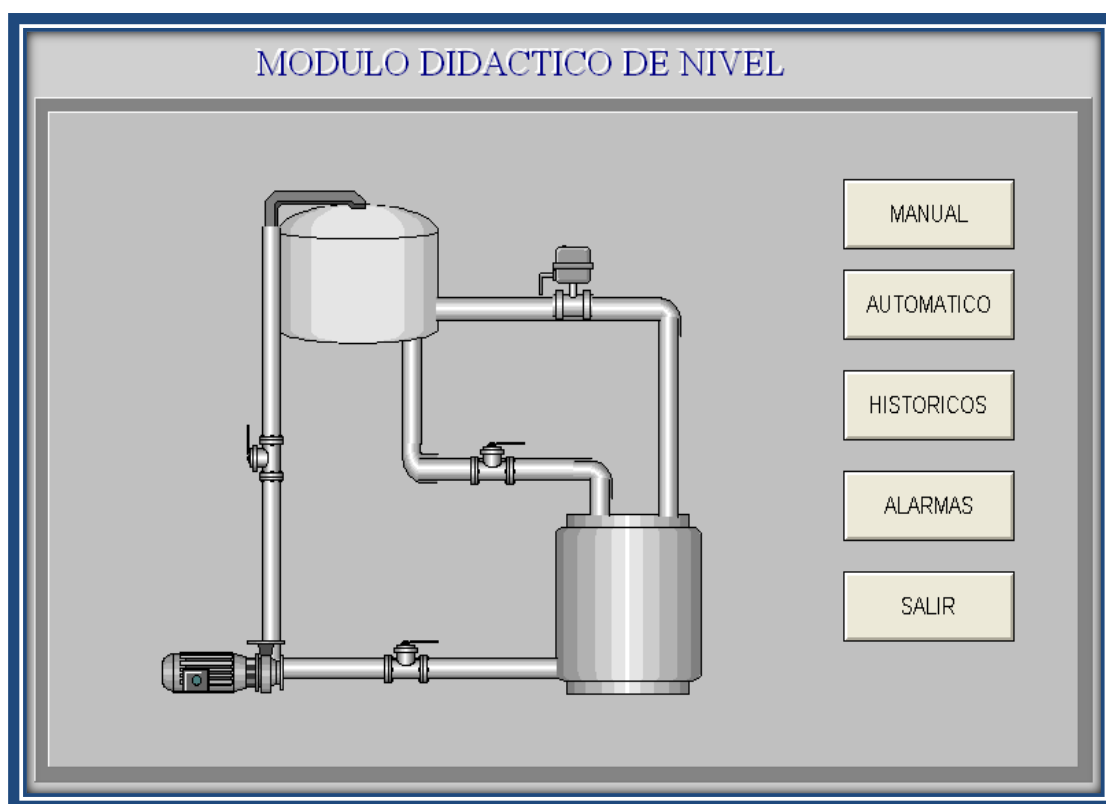


Figura 3.20 Animación de la ventana "PROCESO"

Los botones "Automático" y "Manual", cuya selección habilitan dos ventanas diferentes y cuyas descripciones se indican a continuación.

3.2.3.1 Botón Automático

Este botón controla la visibilidad de ciertos objetos en la ventana "AUTO", es decir al ser presionado permite visualizar botones y mensajes de texto los cuales dan a conocer y posibilitan la modificación de parámetros relacionados con el funcionamiento del sistema en este modo.

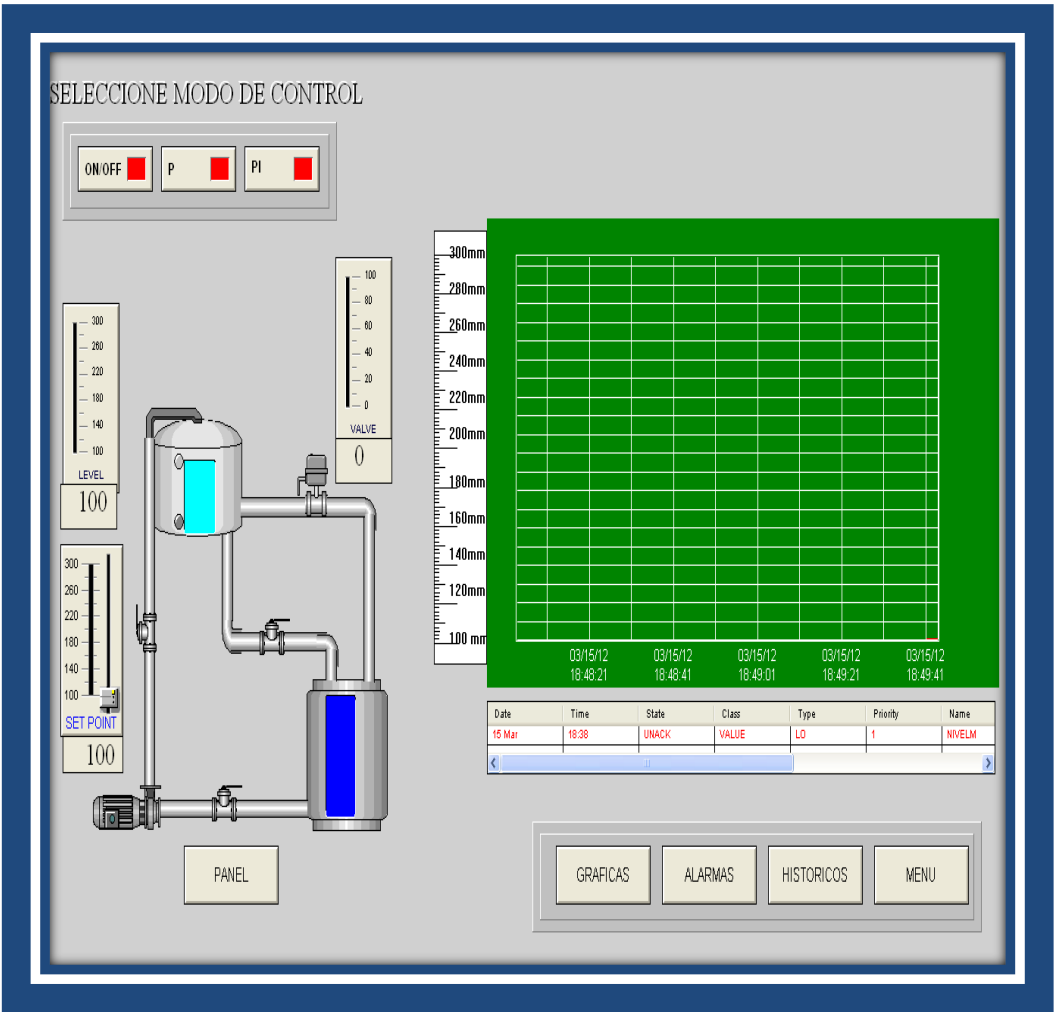


Figura 3.21 Ventana de Funcionamiento en Modo Automático



### 3.2.3.1.1 Mensajes de Texto

Los mensajes de texto existentes en la ventana son los siguientes:

- **Setpoint** Muestra el valor del setpoint escogido
- **Nivel** Muestra el valor del nivel del líquido en el tanque
- **Servoválvula** Muestra el porcentaje de apertura de la válvula de Control

Para poder mostrar un valor numérico se debe crear el texto "#.#" y asignarle el link *Value Display / Analog* vinculado con el tagname a mostrar.<sup>40</sup>

La figura 3.22 indica las ventanas de dialogo para mostrar el valor del setpoint.

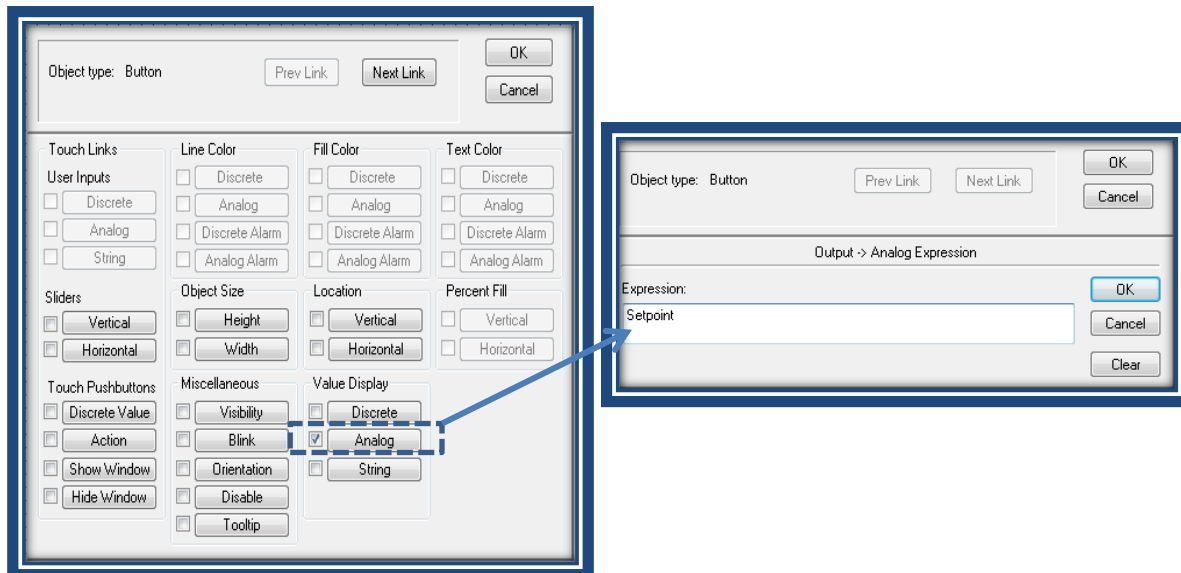


Figura 3.22 Ventanas de configuración para mostrar Setpoint

Los botones existentes en la ventana son los siguientes:

<sup>40</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation .  
Revisión C, Julio 1999.

### 3.2.3.1.2 Fijar Setpoint

Para "Fijar Setpoint" tenemos una barra de desplazamiento con los porcentajes o un cuadro de texto el cual nos permite ingresar los valores requeridos.

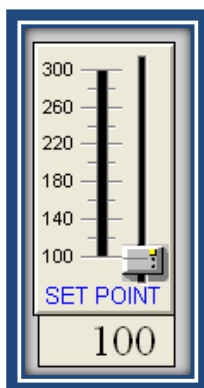


Figura 3.23 Opciones para fijar "SET POINT"

### 3.2.3.1.3 Botón Gráficas

El botón "Gráficas" permite abrir la ventana "GRÁFICAS" en la que se representan en tiempo real las variables del proceso: Nivel en el tanque, Setpoint, Funcionamiento de la Bomba y Porcentaje de Apertura de la válvula de control.

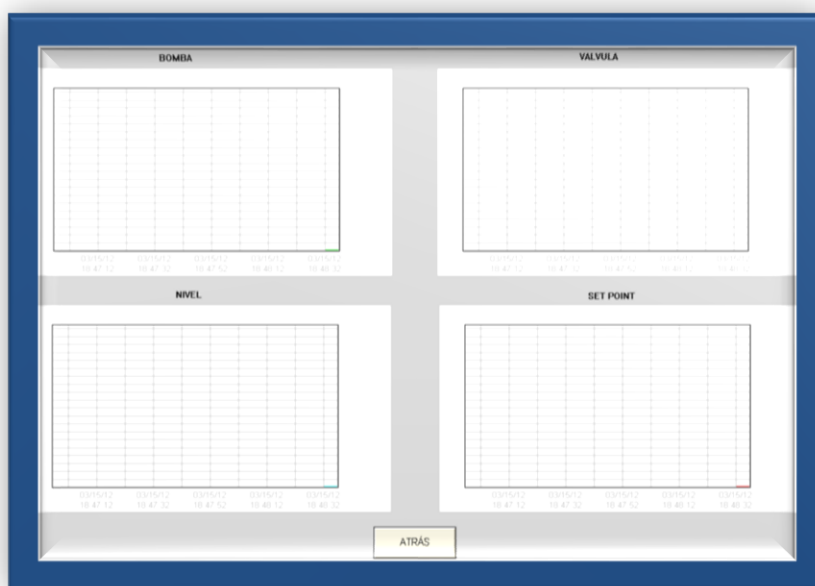


Figura 3.24 Ventana " GRÁFICAS"

Para crear un gráfico de tiempo real se debe seleccionar el icono *Real-time Trend* en *Drawing Toolbar*, a continuación se lo pega en la ventana de la aplicación en donde debe ser configurado.

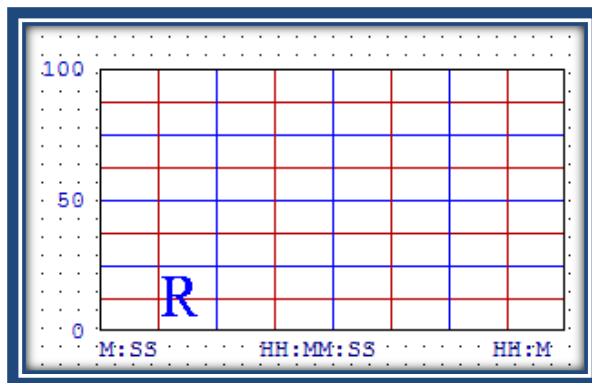


Figura 3.25 Object *Real-time Trend*

Para abrir la ventana de configuración de un *Real-time Trend* se debe hacer doble click en el objeto. La siguiente ventana de configuración aparece:

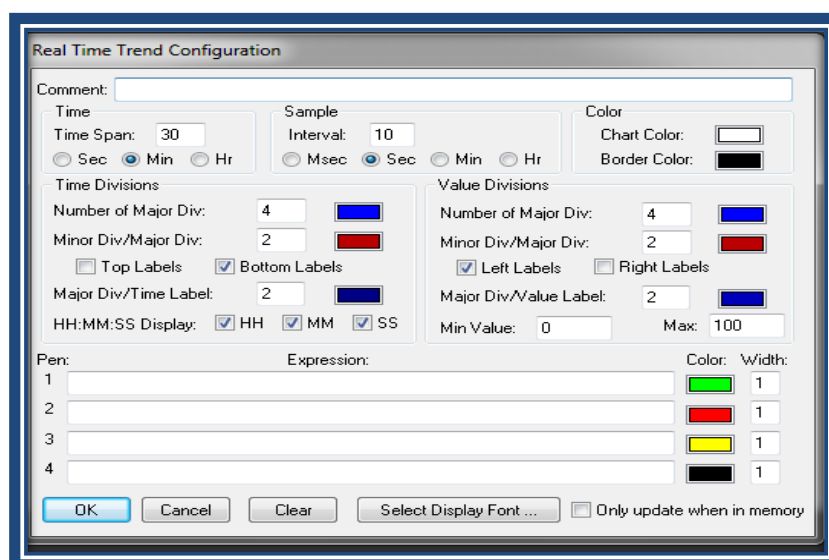


Figura 3.26 Ventana de configuración del *Real Time Trend*

Esta ventana permite configurar propiedades que va a tener la gráfica en *Window Viewer*, como tiempo de muestreo, escala máxima de los ejes, divisiones de la cuadrícula en la que es dibujada la gráfica, colores, y demas.

Para configurar el tagname que va a ser graficado se debe escribir su nombre (Pen) en el área de *Expression*. Un total de cuatro tagnames pueden ser graficados en un mismo *Real-time Trend*.<sup>41</sup>

La opción *Only Update when in memory* permite actualizar la gráfica únicamente cuando la ventana es mostrada, si esta opción no es activada los datos serán actualizados incluso cuando la ventana que contiene el *Real-time Trend* no esté activa, lo que podría ocasionar un desarrollo lento del sistema en general.

Desde la ventana "GRÁFICAS" se puede visualizar el modo de funcionamiento y dependiendo de éste, tomar acciones de control como variar setpoint, encender la bomba y variar porcentaje de apertura de la válvula de control.

#### **3.2.3.1.4 Botón Históricos**

El botón "Históricos" abre la ventana "HISTÓRICOS" que permite obtener información gráfica acerca de acciones tomadas en el proceso. Los históricos del proceso a diferencia de los gráficos en tiempo real proporcionan información pasada y sus datos son actualizados únicamente por medio de scripts o botones con links asociados para hacerlo. Un histórico puede ser asociado con herramientas como barras de desplazamientos para acceder a fechas específicas, opciones de zoom para mejor apreciación de los datos, etc.<sup>42</sup>

Para crear un histórico se debe seleccionar el icono *Historical Trend* en la *Drawing Toolbar* o bien utilizar uno de los *Historical Trends Wizards* ya existentes y ubicados en la opción *Trends* del *Wizards Selection*.

---

<sup>41</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation . Revisión C, Julio 1999.

<sup>42</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation . Revisión C, Julio 1999.

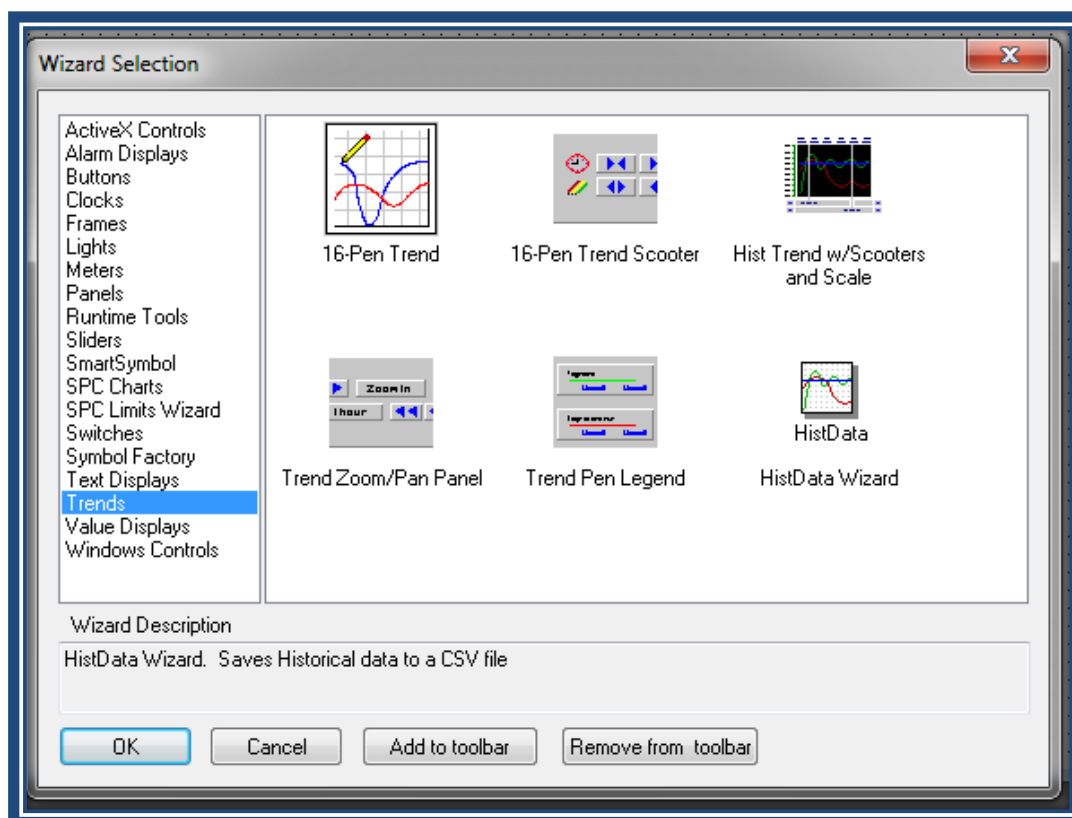


Figura 3.27 *Historical Trends Wizards*

El histórico desarrollado en el presente trabajo utiliza los siguientes *Historical Trends Wizards* ya existentes:

*Historical Trends w/ Scooters and scale*: Este wizard permite mostrar la pantalla en donde se van a visualizar la gráficas de las variables de los históricos, el eje "x" con una escala de tiempo y el eje "y" puede cambiar sus rango dependiendo del tipo y número de variables que estén configuradas para ser graficadas en el histórico.

Para configurar este *Wizard* se debe previamente crear un tagname del tipo *Hist Trend* y otro *Memory Integer* luego doble click en el objeto del wizard con lo que la siguiente ventana aparece.

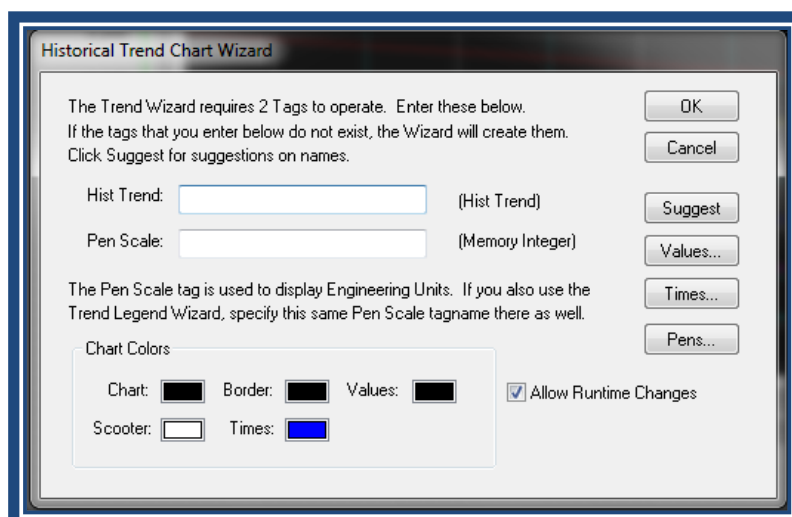


Figura 3.28 Ventana de configuración del *Wizard Historícal Trend w/Scooters* and scale

Los tagnames previamente creados deben ser ingresados en *Hist Trend* y *Pen Scale*. Además se puede configurar el formato y escalas de los ejes x e y (*Valúes* y *Times*), y los tagnames que van a ser graneados en el histórico (*Pens*).

Para que un tagname pueda ser graficado y almacenado por un histórico debe previamente ser asignado para el efecto (máximo ocho tagnames por *wizard historical trend*), para lo cual en el *Tagname Dictionary* se debe seleccionar el *tag* (*Select...*) y asignarle la opción *Log Data*.

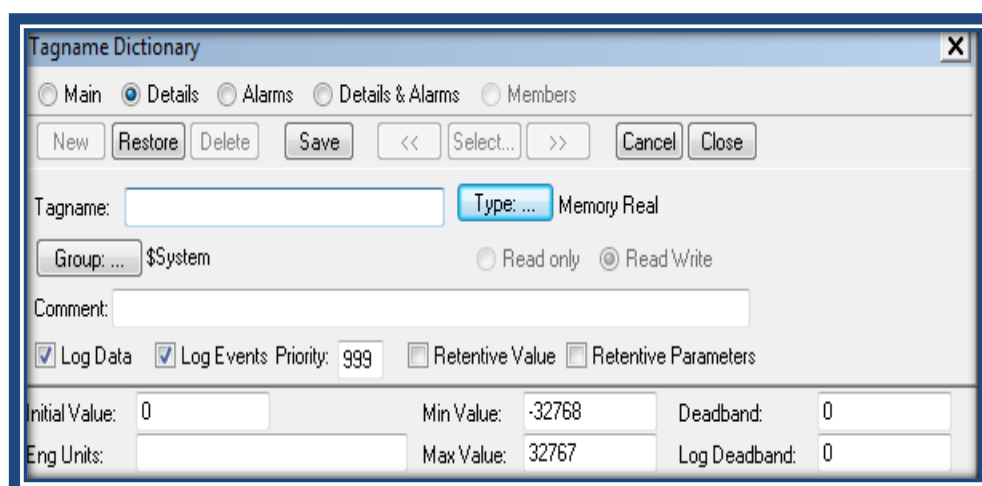


Figura 3.29 Ventana de asignación del tagname para ser usado por un histórico

Una vez que se han asignado tagnames en la opción (*Pens...*) del *Historical Trend Wizard* se debe habilitar el almacenamiento de datos al histórico desde la opción *Enable Historical Logging* en la ventana de *Historical Logging Properties* que se accede desde la opción *Special / Configure / Historical Logging*<sup>43</sup>

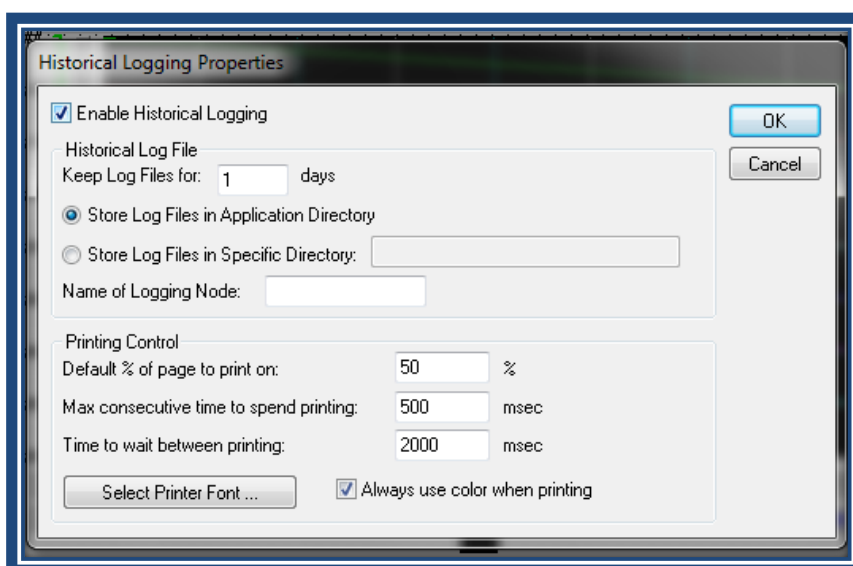


Figura 3.30 Ventana *Historical Logging Properties*

En esta ventana se puede configurar el número de días que se desea que los archivos de los históricos permanezcan almacenados en el computador (*Keep log files for...*) y el directorio de destino (*Store Log Files in special directory*), Intouch crea dos archivos cada día (**.LGH** y **.IDX**), por lo que se debe considerar el espacio libre en el disco, si no existe suficiente espacio el almacenamiento de históricos se detiene hasta que sea liberada memoria en el disco duro. El formato de los archivos creados por Intouch son los siguientes:

YYMMDD.LGH y YYMMDD.IDX en donde

- YY Muestra el año que el archivo fue creado (99-01)
- MM Muestra el mes que el archivo fue creado (01-12)
- DD Muestra el día que el archivo fue creado (01-31)

<sup>43</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation. Revisión C, Julio 1999.

### 3.2.3.1.5 Botón Alarmas y Eventos

Finalmente el botón "Alarmas/Eventos" permite abrir la ventana "ALARMAS Y EVENTOS", que es un sistema de notificaciones que posee Intouch para informar al operador del proceso y las condiciones del sistema.

Las alarmas representan advertencias de las condiciones del proceso mientras que los eventos son mensajes de estado normal del proceso. Intouch permite la muestra, actualización e impresión de las alarmas y eventos del sistema.

Intouch posee un wizard que permite mostrar las alarmas y eventos generados localmente (*Standar Alarm Display*). Para crear un *Standar Alarm Display* se debe hacer click en el wizard ubicado en el *Wizard/Active X Toolbar*. Figura 3.31

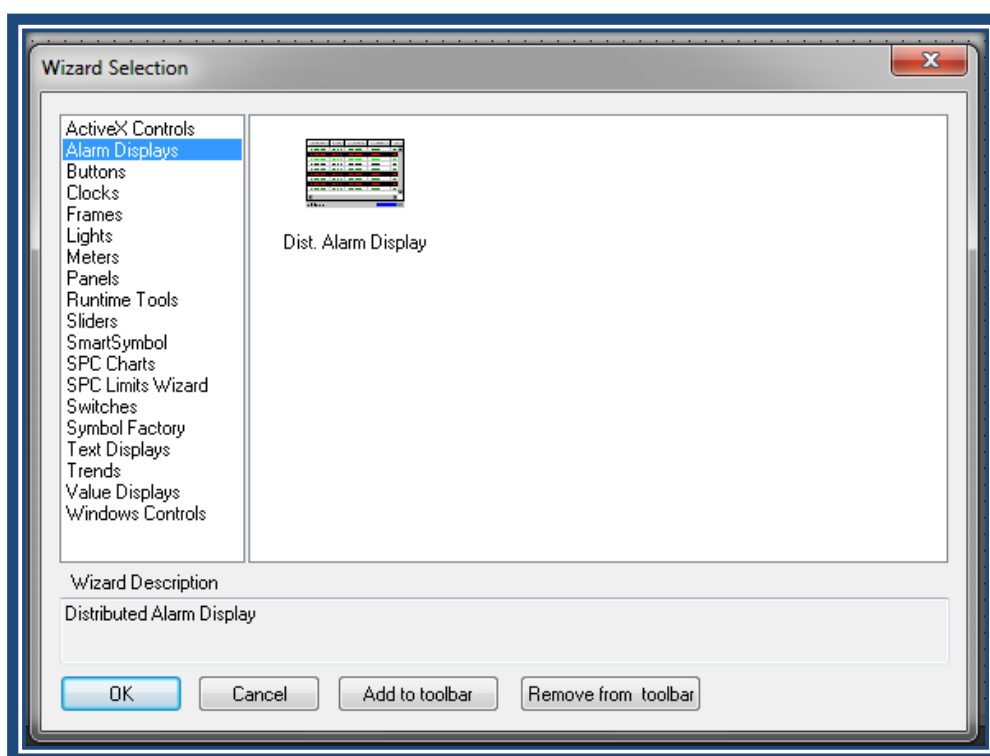


Figura 3.31 Ventana de selección del wizard *Standar Alarm Display*

Para configurar el wizard se debe hacer doble click en el mismo con lo que la siguiente ventana de configuración aparece.



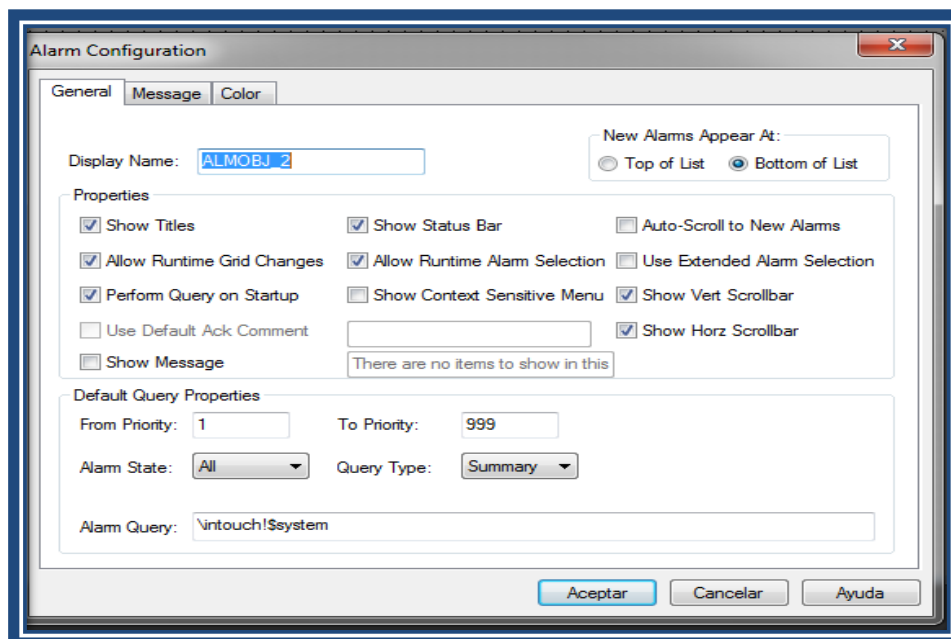


Figura 3.32 Ventana de configuración del *Wizard Standar Alarm Display*

Los aspectos de mayor importancia que deben ser configurados son los siguientes:

#### 3.2.3.1.6 Window Type

Alarm Summary Muestra un resumen de las alarmas

Alarm History Muestra un resumen de las alarmas y eventos

UnAck ALM Color	Color del mensaje de aviso de alarma desconocida
Ack ALMColor	Color de mensaje de aviso de conocimiento de alarma
Alarm Group	Grupo de alarmas que el wizard está destinado a mostrar
FromPriority/ToPriority	Rango de prioridad de las alarmas que serán mostradas
PreviousPage/NextPage	Nombre de dos tagnames discretos que pueden ser vinculados con botones para que en <i>runtime</i> permita desplazarse en la ventana de alarmas y eventos.

Cuando se da click en *Format Alarm Message* se abre una ventana (Figura 3.33) que permite configurar el formato con el que el mensaje de alarma o evento va a ser mostrado en el *wizard* en *runtime* en el momento que éste ocurre.<sup>44</sup>

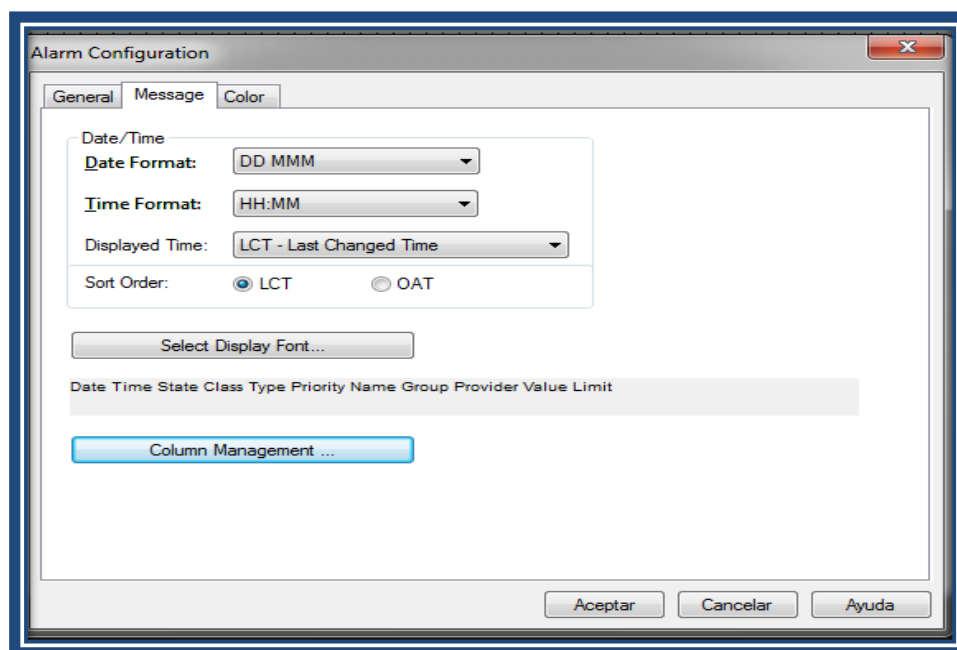


Figura 3.33 Ventana de *Format Alarm Display*

Esta ventana permite configurar el formato de la fecha y hora que ocurrió la alarma o evento, mostrar el tipo, prioridad, valor, comentario, tagname, estado y más aspectos de la alarma o evento.

Para que un tagname sea mostrado por el *Standar Alarm Display Wizard* se debe previamente definir las condiciones de alarma para dicho *tag* en el *Tagname Dictionary*.<sup>45</sup>

<sup>44</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation . Revisión C, Julio 1999.

<sup>45</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation . Revisión C, Julio 1999.

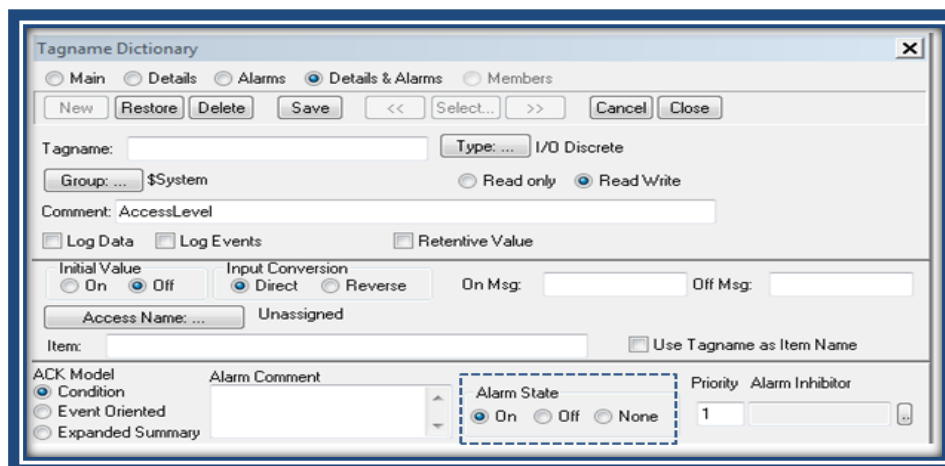


Figura 3.34 Ventana de configuración para alarma y evento de un *tagname*.

### 3.2.3.2 Botón Manual

Al escoger la opción manual se habilitan los controles manuales del proceso, los cuales son:

- Pulsante de encendido y apagado del motor de la bomba
- Scroll de incremento y decremento de la apertura de la válvula de control
- Botón Históricos (Despliega la ventana de históricos)
- Botón Gráficas (Despliega la ventana de gráficos)
- Botón Alarmas y Eventos (Despliega la ventana de alarmas y eventos)

Además se puede ver los valores numéricos del nivel de líquido en el tanque y el porcentaje de apertura de la válvula de control.

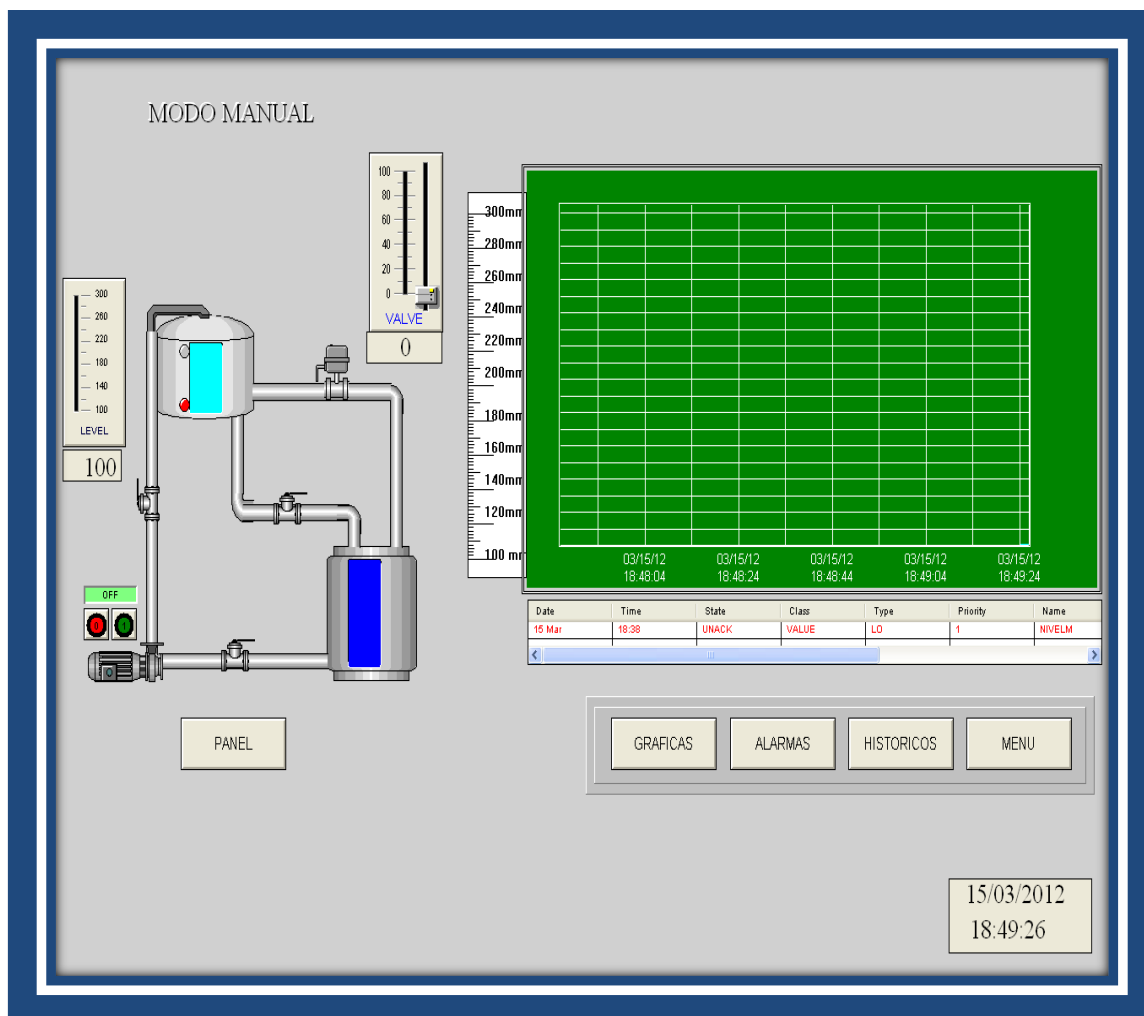


Figura 3.35 Ventana de Funcionamiento Manual

Hay que tener presente que en los dos modos de funcionamiento existe un *Real-time Trend* que nos permite visualizar las gráficas del encendido y apagado de la bomba; la apertura o cierre de la válvula; el set point fijado y el nivel del líquido en el tanque.

### 3.3 COMUNICACIÓN PLC – INTOUCH

Para el acceso de datos en el PLC se utiliza el Modicom ModBus I/O Server o también conocido como ModBus el mismo que es un programa de aplicación que trabaja bajo Windows y actúa como un servidor de protocolo de comunicación, ModBus permite el acceso al PLC desde otra aplicación de Windows.

En este caso permite enviar o recibir datos desde el programa de aplicación Intouch hacia el PLC (Twido TWDLMDA20DRT). La comunicación interna entre Intouch y ModBus se establece por medio del protocolo DDE (Dynamic Data Exchange), protocolo desarrollado por Microsoft para permitir a aplicaciones que trabajan en ambiente de Windows enviar y recibir datos de una a otra.

El direccionamiento de datos por medio de ModBus se lo realiza mediante un convenio que requiere la definición de tres partes denominadas *application name*, *topic name* y *access name*.<sup>46</sup>

*application name* Es el nombre del programa que trabaja bajo Windows y tendrá acceso al PLC, en caso de que los datos sean leídos o escritos en un PLC Twido por medio de este servidor el *application name* deberá ser ModBus.

*topic name* Es el nombre genérico que se le da a la aplicación para ser identificada en el proceso de comunicación por ejemplo TWIDO. En el caso de que la comunicación sea con Intouch es el mismo nombre que lleva el *Access Name* de los *I/O tags* de la aplicación

*item name* Son los nombres de específicos datos dentro del topic (PLC), por ejemplo un Ítem puede ser un relé, un registro, etc. dentro del PLC. Los *items names* dependen del modo de direccionamiento que utilice a programación del PLC utilizado.

### 3.3.1 CONFIGURACIÓN DEL I/O SERVER

Una vez que el software del ModBus es instalado en el computador, éste requiere una configuración para su correcto funcionamiento. Las opciones de configuración se encuentran en la barra de menú de la ventana del programa en la opción Configure (Figura 3.36)

---

<sup>46</sup> WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation . Revisión C, Julio 1999.

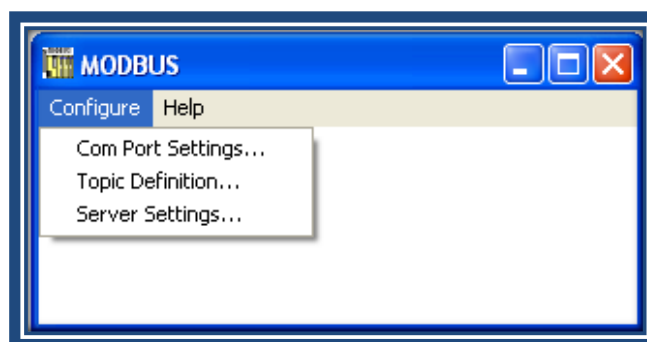


Figura 3.36 Ventana del programa ModBus

### 3.3.1.1 Configuración del Puerto de Comunicaciones

La Figura 3.37 muestra la ventana de configuración del puerto de comunicaciones que es utilizado para la comunicación con el PLC, su acceso se lo realiza desde la barra de menú *configure / com port settings*.

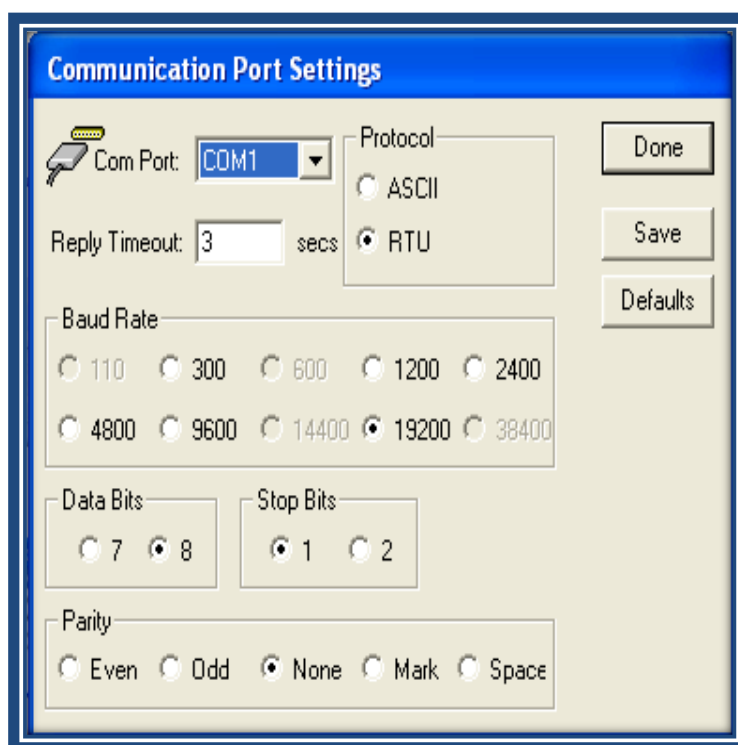


Figura 3.37 Ventana de configuración del puerto de comunicaciones

Esta ventana nos permite configurar el puerto de comunicaciones que será utilizado, el modo de transmisión de datos, velocidad, bits de paridad, datos, parada, modo y chequeo de errores de ser el caso.

### 3.3.1.2 Configuración del topic

Para la configuración del topic se debe acceder a la ventana correspondiente desde el menú *Configure/Topic Definition*, en la cual se debe agregar un nuevo topic (*New*).

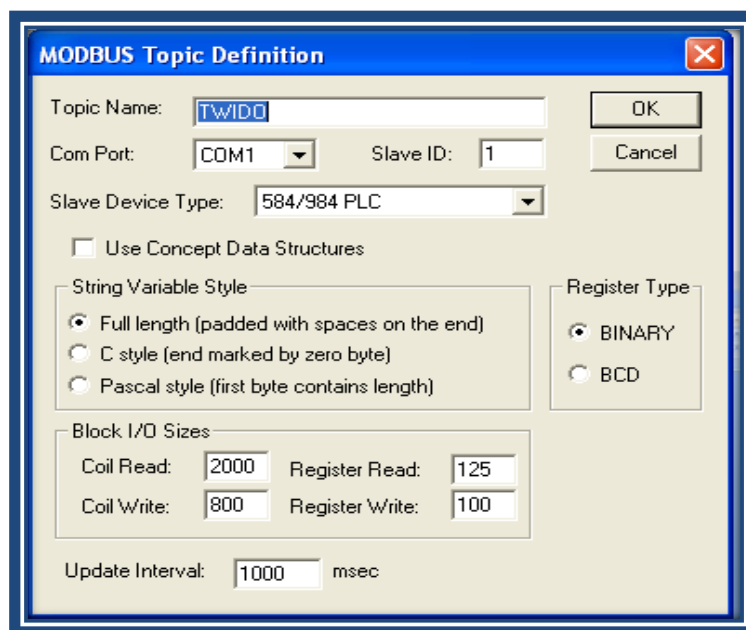


Figura 3.38 Ventana de configuración de nuevo topic

En esta ventana de diálogo se debe configurar y tomar en cuenta lo siguiente:

<i>Topic Name</i>	Nombre asignado al topic.
<i>Com Port</i>	Puerto de comunicaciones a utilizarse.
<i>PLC Family</i>	Seleccionar el tipo de PLC para el <i>topic definition</i>
<i>Slave ID</i>	El número de identificación del “ESCLAVO”.
<i>Register Type</i>	Permite determinar el tipo de direccionamiento de la conexión entre el PLC y el computador, <i>binary</i> que permite una conexión directa vía RS232 entre el PC y el PLC.

*Block I/O Sizes* Permite determinar los máximos números de valores discretos y de registros que se desea sean leídos a la vez, así como también el tiempo para que el servidor lea los datos asociados a este *topic*. Para el PLC utilizado los valores máximos de *Discreto* and *Register Block Size* son 125 y 100 respectivamente, y un intervalo de actualización de 1000 msec.

Finalmente se debe activar el puerto y el tópico desde *Information/Reports/Active Ports and Topics* en la barra de menú inicio del programa.

### 3.3.2 CONFIGURACIÓN DE ÍTEMS EN INTOUCH

Para que un *I/O Tagname* sea leído o escrito desde el PLC se debe previamente definir un *Access name* dentro de *Intouch*, el mismo que contiene la información del nombre de la aplicación (*Application Name*), y el nombre del tópico (*Topic Name*)

El *Application Name* corresponde al nombre de la aplicación con la que se va a comunicar *Intouch*, en este caso el servidor de comunicaciones ModBus que a su vez va a acceder a los datos del PLC. El *Topic Name* corresponde al nombre genérico de la aplicación, en este caso *TWIDO* (Igual al nombre del *Topic Definition* establecido en ModBus)

Para definir un *Access Name* para un *I/O Tagname* por primera vez se debe seleccionar dicho *tag* desde el *Tagname Dictionary* y presionar el botón *Access Name* Figura 3.40, a continuación se abre una ventana de diálogo que permite añadir (*Add*), modificar (*Modify*), o borrar (*Delete*) un nuevo - *Access Name*.  
Figura 3.41



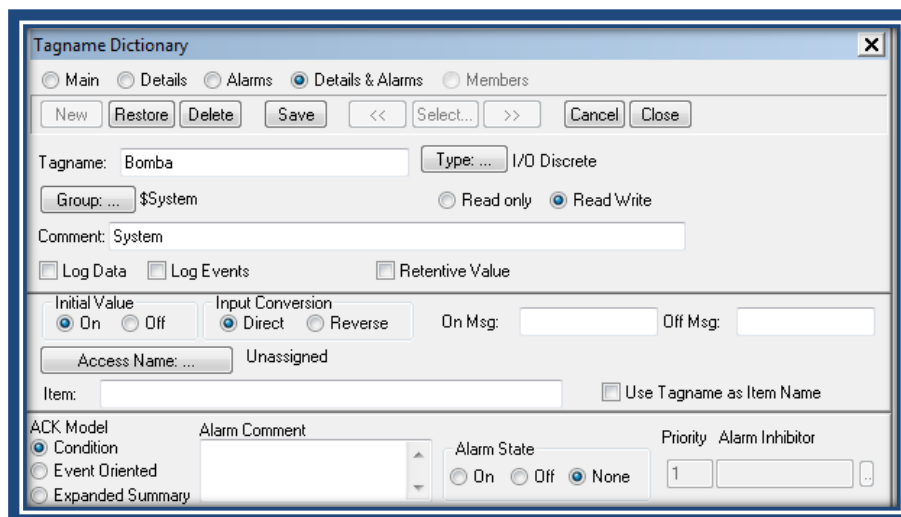


Figura 3.40 Ventana del I/O Tagname bomba utilizado para encender la bomba desde Intouch

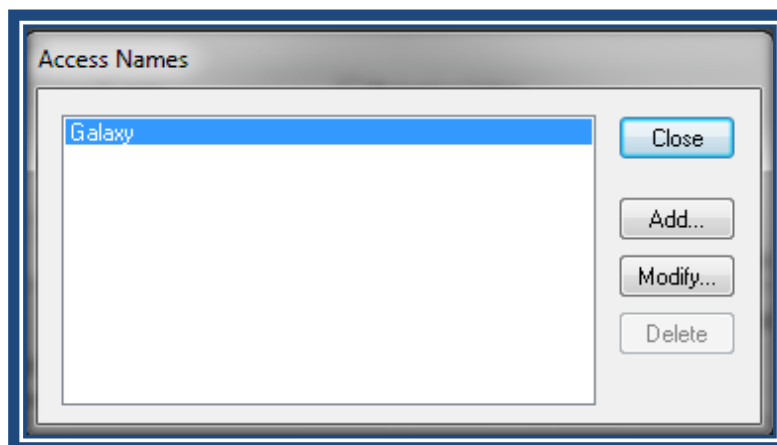


Figura 3.41 Ventana *Access Names*

En el momento que se decide añadir un nuevo *Access Name* se abre una nueva ventana de dialogo en la cual se debe escribir un nombre genérico para el acceso creado (Para esta aplicación el nombre es TWIDO), el nombre de la aplicación (ModBus) y el nombre del tópico (TWIDO). Además se debe seleccionar el protocolo a utilizarse (DDE). Figura 3.42

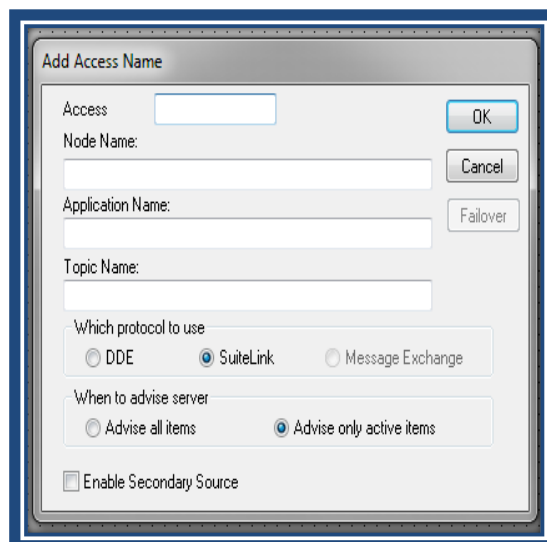


Figura 3.42 Ventana para añadir un nuevo *Access Name*

Posteriormente se debe asignar el ítem (Figura 3.42), el que corresponde a una dirección dentro del PLC con la que va a estar asociada dicho *I/O Tagname*.

Para un correcto inicio de la comunicación entre Intouch y el PLC se debe primero activar los puertos y los tópicos en ModBus y luego pasar al modo *runtime* en Intouch.

### 3.4 TWIDO SUITE

Para la codificación del programa del controlador lógico programable Twido TWDLMDA20DRT se utiliza el software de programación *Twido Suite*, el cual es un paquete de programación de *Instituto Schneider Electric de Formación* codificado en ladder para controladores de la familia *TWIDO* basado en Windows.

#### 3.4.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

Entre las principales características de *Twido Suite* tenemos:

- Un editor del programa ladder flexible que permite enfocarse en la lógica de programación en lugar de su sintaxis.

- Un verificador de proyectos que facilita notablemente la ubicación y corrección de errores en el programa.
- Ambiente amigable para el usuario en el momento de editar el programa (barras de herramientas)
- Un explorador que permite acceder a todas las carpetas y archivos con los que consta el proyecto de una manera fácil y rápida.

La ruta de inicio al programa que se crea una vez instalado el software, es la siguiente:

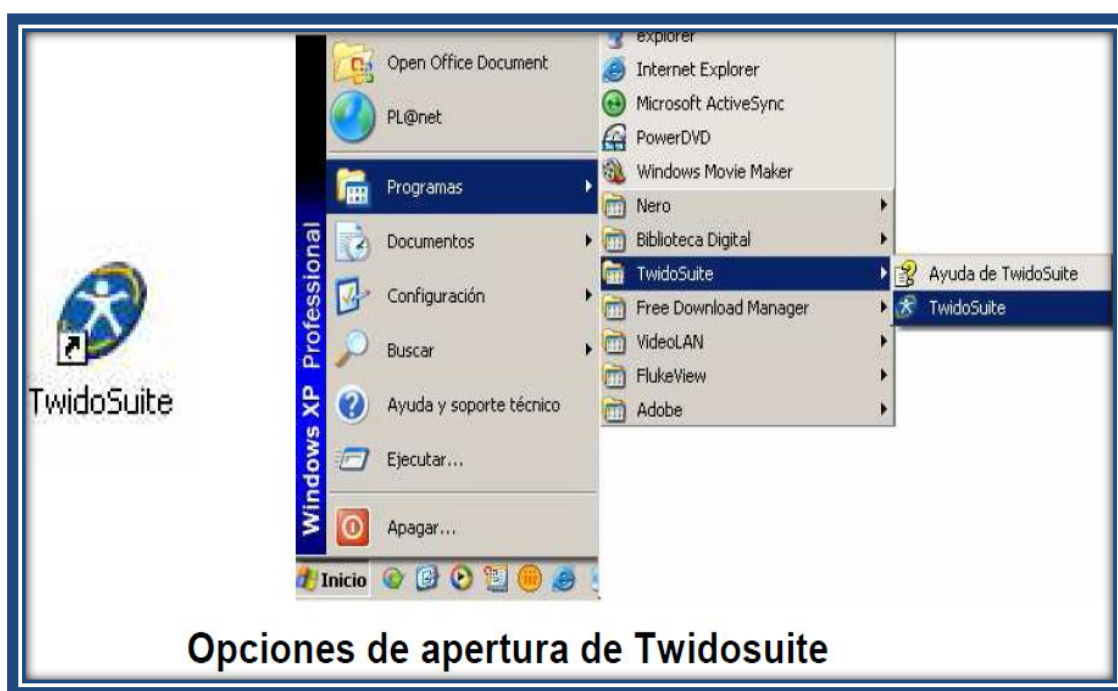


Figura 3.43. Ruta de acceso a *Twido Suite*.

### 3.4.2 CREACIÓN DE UN PROYECTO

*Twido Suite* se basa en el manejo de proyectos, un proyecto es un juego completo de (archivos asociados con el programa. Para crear un nuevo proyecto se lo puede hacer desde el menú *File/New* o dando click en el icono de *New* en la *Main Toolbar*.

Previo a la creación de un nuevo proyecto el programa presenta una pantalla en la cual se debe escoger el driver de comunicación y para la programación del PLC con el que se va a trabajar, el mismo que permitirá además trabajar en el modo de operación denominado *Online* mediante el cual se pueden forzar (simular) los valores de las entradas a fin de determinar la respuesta del controlador.

El driver de comunicación utilizado es el *ModBus Driver – ModBus 01* el que permite la comunicación serial con PLCs de la familia de Schneider Electric.

### 3.4.3 CONFIGURACIÓN DE UNA RED MODBUS:

Para la configuración de una red Modbus, con el software TwidoSuite, el usuario tendrá que seguir los siguientes pasos:

Configurar uno de los puertos del Twido (puerto 1 o puerto 2 si está instalado) como maestro ModBus en la pestaña de **“Describir”**, haciendo doble clic sobre el puerto deseado.

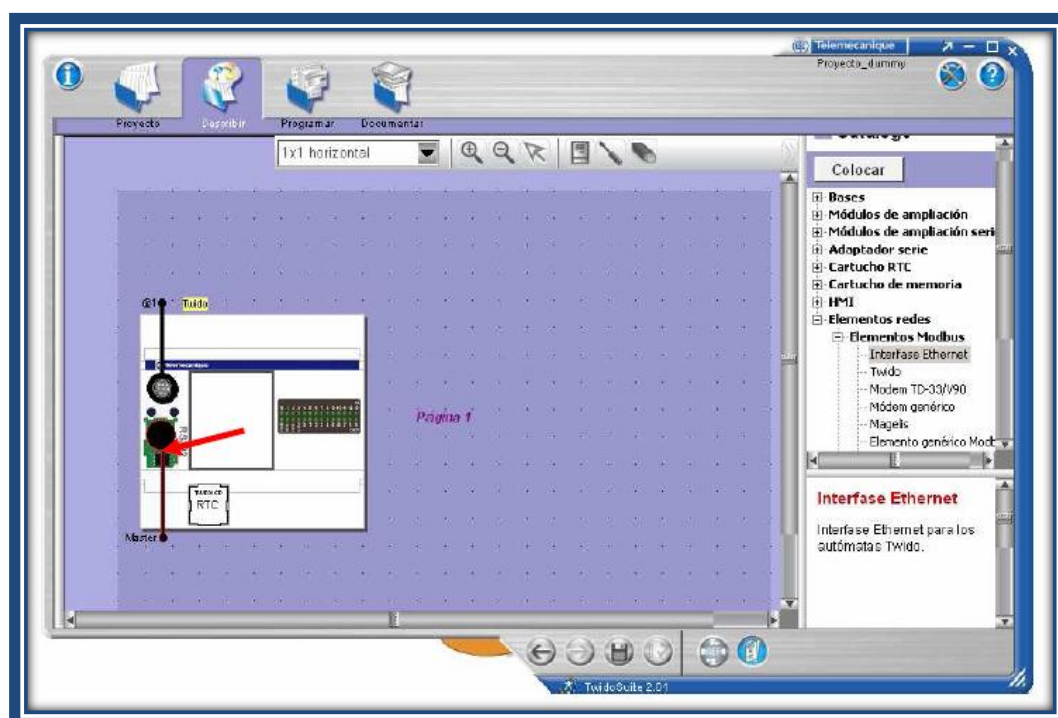


Figura 3.44. Configurando ModBus

En el cuadro que aparece, Seleccionar **Modbus** en el cuadro Tipo de protocolo, con la dirección como maestro “**Maestro**” y confirmar la configuración del puerto.

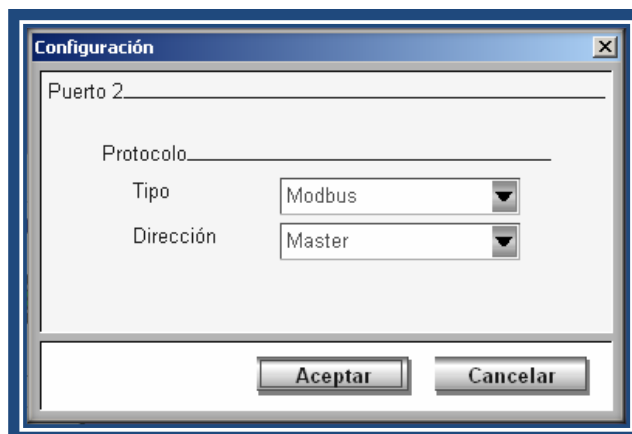


Figura 3.45. Ventana para escoger el Tipo y la Dirección

Una vez configurado el puerto del Twido como maestro de Modbus, se tiene que insertar los diferentes esclavos de la red Modbus, con las direcciones que hayamos configurado físicamente en los esclavos. Se seleccionan los dispositivos del catalogo de hardware (si no se encuentra se tiene que seleccionar **elemento genérico modbus**).

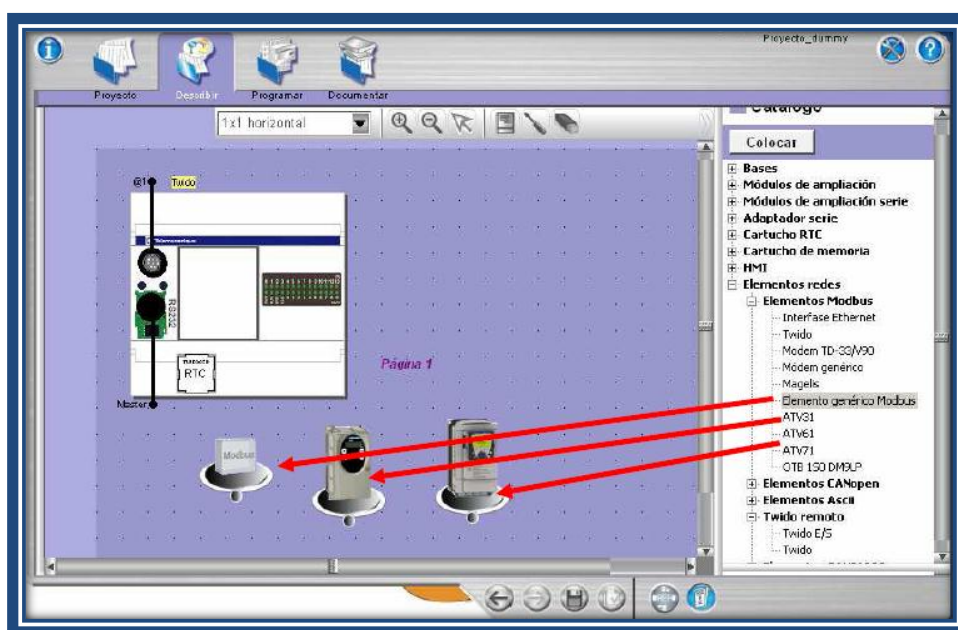


Figura 3.46. Selección de Dispositivos

Haciendo doble clic en los esclavos, aparece la ventana de configuración, donde se especifica el “**Protocolo**” Modbus y la “**Dirección**” que dentro de la red Modbus tendrá el esclavo en cuestión, una vez configurado confirmar con “**Aceptar**”.



Figura 3.47. Configuración de Dirección

Cuando se tengan todos los esclavos configurados de la red, unirlos con el puerto del Twido que hace de maestro de la red ModBus.

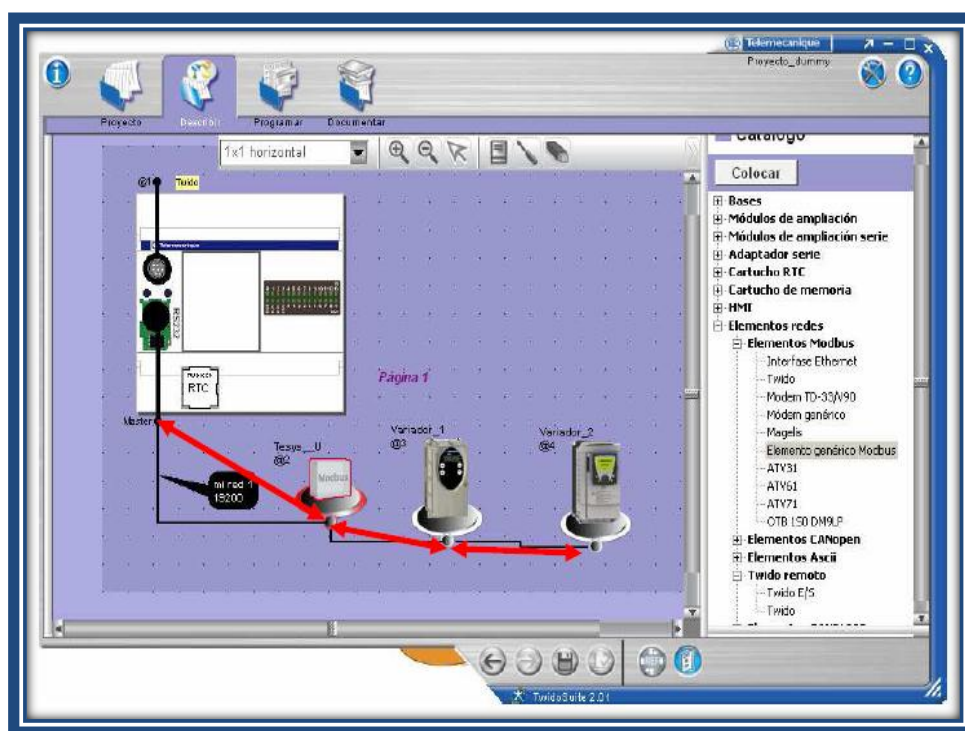


Figura 3.48. Red ModBus creada

Ahora tras haber creado la red Modbus, se debe configurar la velocidad de transmisión, así como el protocolo, para ello se pulsará sobre cualquier parte de la línea de bus (color negro) que se ha generado y aparecerá la ventana de configuración del protocolo Modbus.

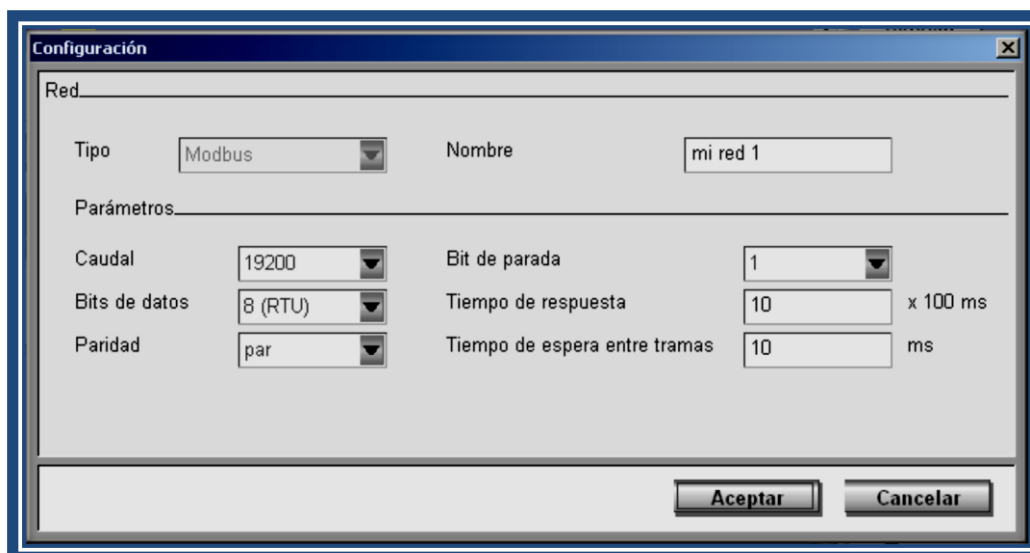


Figura 3.49. Configuración de velocidad, paridad.

En esta se puede definir la velocidad de transmisión “**Caudal**”, así como el formato del protocolo y el Timeout, generalmente con el que viene predeterminado ya es suficiente (Caudal: 19200, 8 bits de datos, Paridad: Par, 1 bit de parada)

### 3.4.4 CREAR UN PROYECTO NUEVO:

Para crear nuestro primer proyecto, seleccionar el “**Modo Programación**” y nos aparecerá el espacio de trabajo de la ventana principal de *Twidosuite*. Siempre que entramos aparece por defecto la ventana de proyecto, donde podremos realizar la gestión de nuestros proyectos (Crear, abrir, guardar y cerrar un proyecto).

Pulsar en “**Crear un proyecto nuevo**” dentro del marco de acciones de la ventana, acto seguido rellenar los campos de información general de nuestro proyecto, como puede ser: el nombre del proyecto, la ruta donde lo deseamos guardar, el autor, la versión, la compañía...etc.



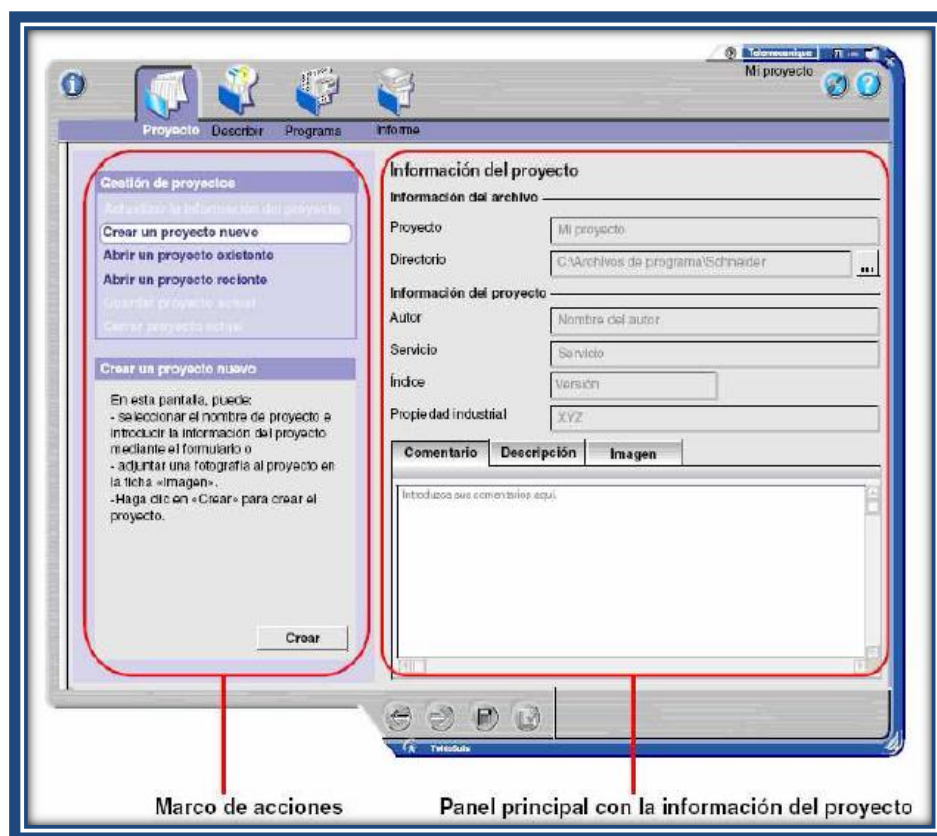


Figura 3.50 .Ventana de la pestaña de “Proyecto”

Opcionalmente, también se dispone en la parte de debajo de tres pestañas que se pueden rellenar para detallar más información de la aplicación, como son: “**Comentarios**” para introducir los comentarios de la aplicación que se desean descripción de funcionamiento, notas...etc., “**Descripción**” donde aparece gráficamente la configuración de nuestra aplicación (equipos, redes) y la pestaña “**Imagen**” donde podemos cargar una imagen que se desee (logo de la compañía, esquemas).

Una vez se haya introducido la información del proyecto generaremos el archivo pulsando el botón “**Crear**” que aparece en la parte de abajo del marco de acciones.

#### 3.4.4.1 Navegación por el espacio de trabajo de TwidoSuite

La navegación por el interface del *Twidosuite* es muy intuitiva y gráfica ya que sigue los pasos de ciclo de desarrollo natural de una aplicación de



automatización, por eso la navegación y la compresión de que se realiza en esa ventana es tan sencilla.

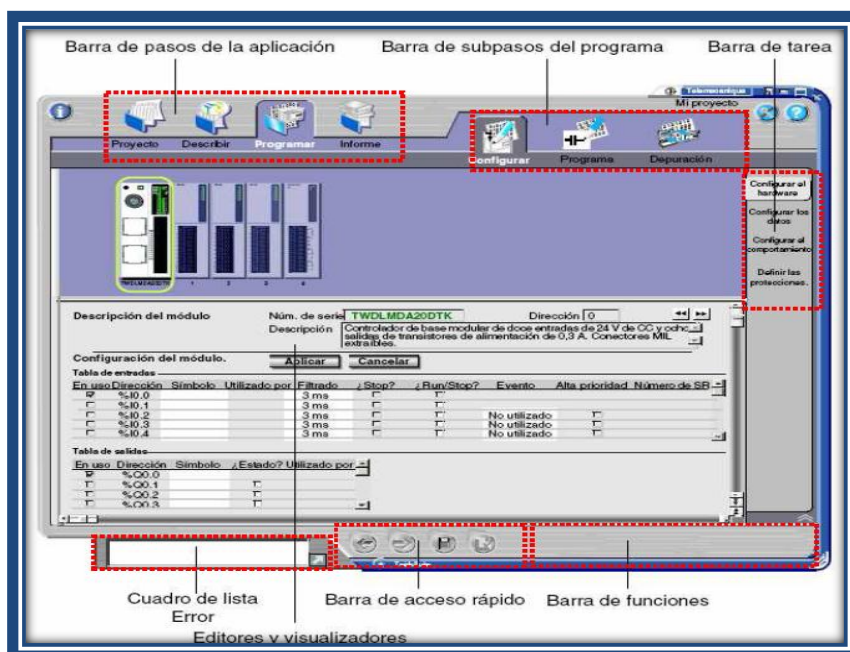


Figura 3.51. Espacio general de trabajo del Twidosuite

En el espacio de trabajo general siempre tendremos una serie de barras, pestañas y menús que tendrán las siguientes funciones:

- **Barra de pasos de la aplicación:** Muestra los cuatro pasos de la aplicación TwidoSuite (Proyecto, Describir, Programar, Documentar).
- **Barra de subpasos del programa:** Muestra los tres subpasos del programa (Configurar, Programa, Depuración). Aparece únicamente cuando el paso Programa está seleccionado.
- **Barra de tareas:** Proporciona acceso a todas las tareas que puede realizar en el paso o subpaso seleccionado de la aplicación.
- **Barra de funciones:** Proporciona acceso a funciones especiales asociadas a la tarea seleccionada.

- **Barra de acceso rápido:** Muestra los comandos Anterior/Siguiente y los accesos directos a Guardar y a Analizar programa en todo momento.
- **Editores y visualizadores:** Se trata de ventanas de TwidoSuite que organizan los controles de programación y configuración de manera que las aplicaciones puedan desarrollarse correctamente.
- **Barra del cuadro de lista Error:** Muestra información acerca de los posibles errores o advertencias de la aplicación.

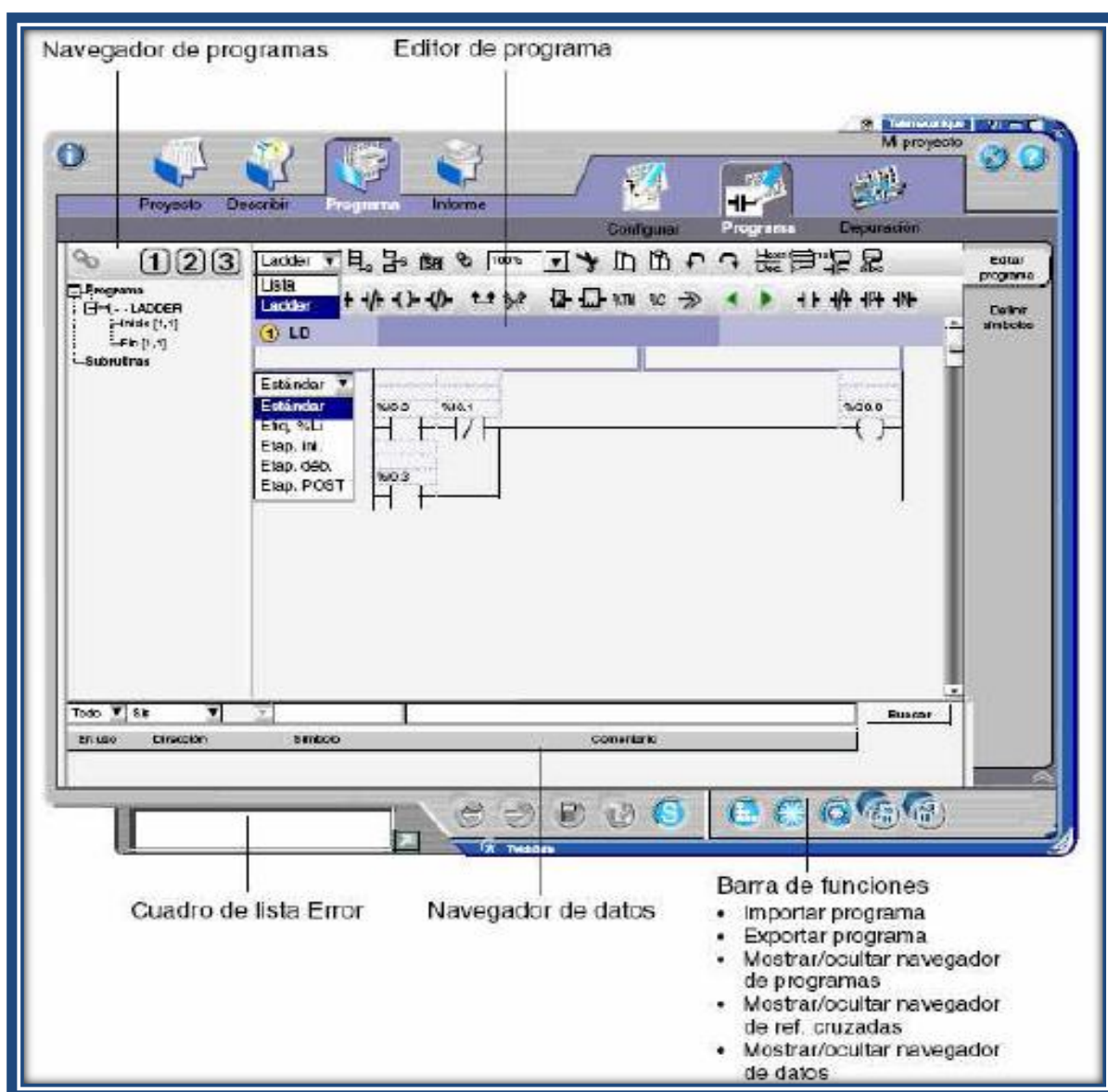


Figura 3.52 Ventana principal de programa *Twido Suite*.

### **3.5 DESARROLLO DEL PROGRAMA DEL PLC**

#### **3.5.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El programa del PLC debe hacer lo siguiente:

De acuerdo a la opción escogida

Manual/Panel

Permite encender o apagar la bomba y variar el porcentaje de apertura de la válvula de control desde el Panel Virtual de Operador.

Manual/PC

Permite encender o apagar la bomba y variar el porcentaje de apertura de la válvula de control desde el computador por medio de la interfaz gráfica.

Automático/Panel

Permite ingresar el valor del Setpoint de nivel deseado desde el Panel Virtual del Operador y de acuerdo a éste deberá abrir o cerrar la válvula, encender o apagar la bomba con el fin de llegar al valor deseado de nivel en el tanque.

Automático/PC

Permite ingresar el valor del Setpoint de nivel deseado desde el computador y de acuerdo a éste deberá abrir o cerrar la válvula, encender o apagar la bomba con el fin de llegar al valor deseado de nivel en el tanque.

Todos los modos de funcionamiento darán alerta de sobrenivel y subnivel en el tanque, y desactivarán la bomba de ser necesario.

#### **3.5.2 SOLUCIÓN PROPUESTA**

Tomando en cuenta que el programa del PLC debe determinar primeramente en que modo de operación se desea trabajar, y luego realizar un número de acciones específicas que depende del modo escogido, se desarrolla un

programa principal que se encarga primeramente de determinar el modo de operación escogido mediante una sección inicial.

Posteriormente se tiene tres secciones adicionales, cada una correspondiente a cada modo de operación (Manual y Automático).

Cada una de las secciones de los modos de operación consta a su vez de redes internas encargadas de realizar una acción específica como por ejemplo el manejo de la válvula de control.

A continuación se detalla el funcionamiento del programa y de las redes utilizadas.

### **3.5.2.1 Descripción del programa para el PLC**

El programa principal del PLC inicializa cuando recibe un dato desde el Intouch con el cual se empieza el programa.

#### **3.5.2.1.1 Sección Seteo Modos De Operación**

Esta sección recibe una señal desde Intouch para escoger entre las secciones de control Manual ó Automático.

#### **3.5.2.1.2 Sección ESTADO**

La sección ESTADO es la encargada de determinar condiciones de estado del módulo, las que son:

- Sobrenivel en el tanque
- Subnivel en el tanque

Para la determinación de sobrenivel y subnivel compara el nivel actual del sensor con un máximo y mínimo seteados; toma el nivel actual del sensor de la entrada analógica %IW 1.0 (Sensor de presión diferencial), y lo compara con uno

preestablecido en el programa.

La relación entre el voltaje la entrada y el valor decimal de la palabra está dada por la ecuación 3.1

$$\text{Valor decimal de la palabra} = \text{Ventrada (V)} * 100$$

Ecuación 3.1

Para el control de nivel se considera un rango de control de 100 a 300 mm. Al entrar a la sección y usando la ecuación 3.1, los valores de voltaje que entrega el sensor en los puntos extremos de control (100mm 1.1V y 300mm 3.1V) son escalados a una palabra decimal entre 0 y 32767, y almacenado en una memoria.

Sabiendo que la respuesta del sensor es lineal y considerando como subnivel el valor de 100mm y sobrenivel el valor de 300mm tenemos lo siguientes valores decimales aproximados del registro para las condiciones indicadas.

	Altura	Voltaje del sensor	Valor decimal
<b>Sobrenivel</b>	300mm	3.1 V	3140
<b>Subnivel</b>	100mm	1.1 V	1160

Cuando el registro toma valores mayores a 3140 se enciende la Luz indicadora de Sobrenivel en el HMI; en el modo manual al detectar un sobrenivel se apaga la bomba, mientras que en modo automático no permite setear un valor superior a los 300mm en cambio si el registro toma valores menores a 1160 se enciende la Luz indicadora de Subnivel en el HMI.

### 3.5.2.1.3 Sección MANUAL

Esta sección inicia determinando condiciones de funcionamiento del módulo por medio de la subrutina ESTADO.

Para el control de la sección MANUAL se recibe un dato de palabra para accionar el actuador de la válvula hacia la salida % Q W 1.0 y un dato para el encendido y apagado de la bomba que esta dirigida hacia la salida % Q 0.3; el control en el modo manual está enfocado en los controles del nivel deseado interactuando directamente con la servoválvula y bomba.

#### 3.5.2.1.4 Sección BOMBA

Esta sección hace funcionar las memorias para que se bloqueen entre los modos Automático y Manual para la salida a relé de la bomba %Q 0.3

#### 3.5.2.1.5 Sección de NIVEL CONTINUO

En esta sección se envía el valor de nivel desde la entrada % I 0.1.0 hacia la memoria % M W 1 y la señal del pulsador de emergencia externo % I 0.0 hacia una memoria al HMI % M15.

#### 3.5.2.1.6 Sección SERVOVÁLVULA

Para el control de posición del vástago de la válvula se utiliza el diagrama de control de la Figura 3.53.

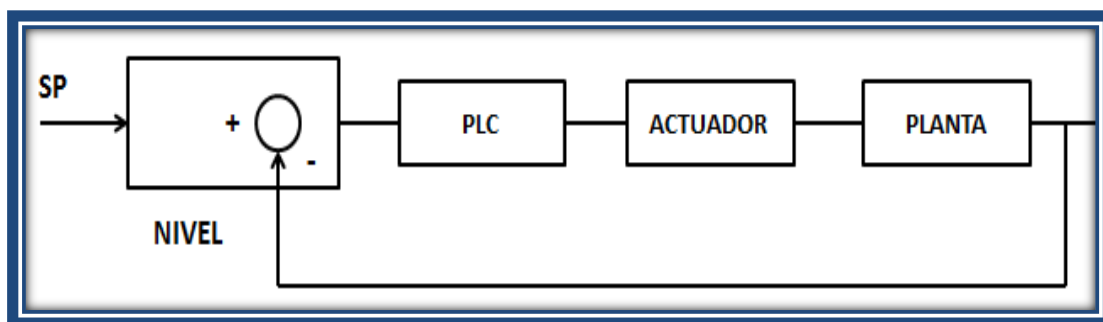


Figura 3.53. Diagrama de control de posición del vástago de la válvula de control

Toma el valor de nivel que registra el sensor y se compara con el set point seteado por el usuario para obtener el valor a corregir usando la memoria % I

W 1.0 entonces se realiza una resta y se calcula el error.

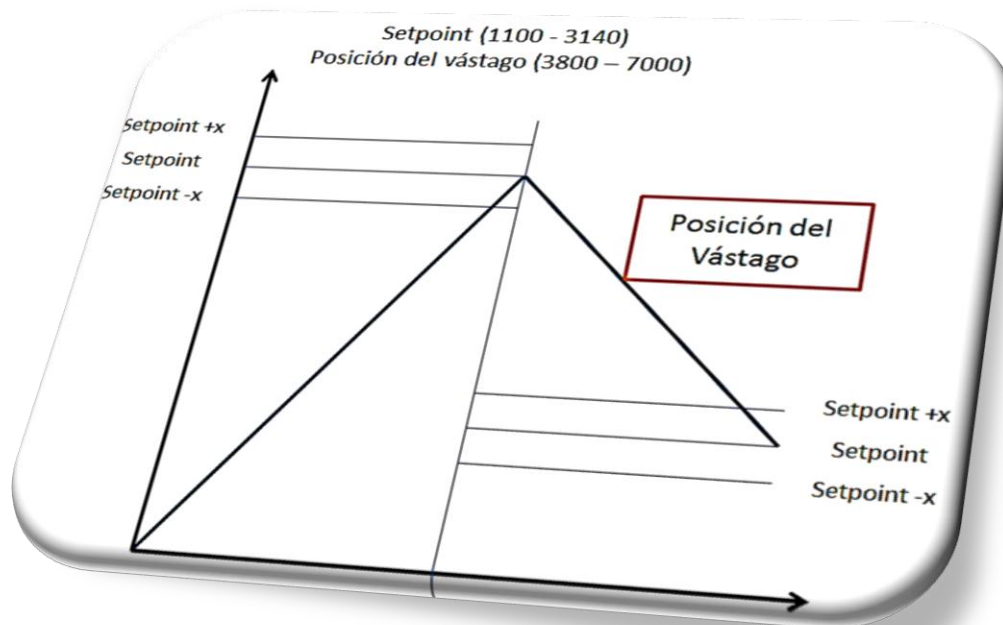
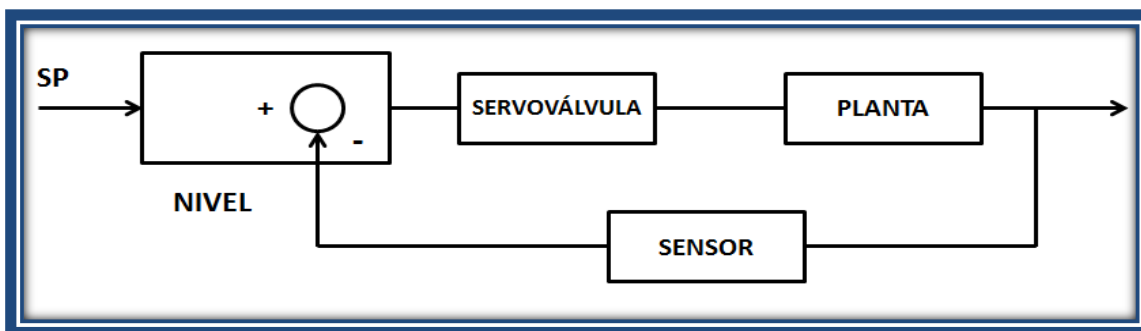


Figura 3.54 Gráfica del ancho de banda utilizado para control de posición del vástago de la válvula de control.

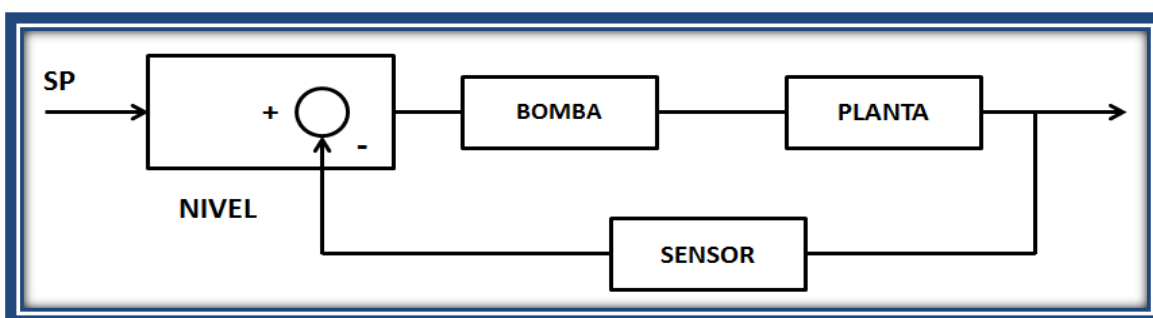
### 3.5.2.1.7 Sección AUTOMÁTICO

Para el control de nivel en el tanque la sección consta de dos partes. Una que se encarga del control cuando el valor de setpoint es menor al valor de nivel real en el tanque en la que el actuador es la válvula, y la que se encarga del control cuando el setpoint es mayor al nivel real, en la que el actuador es la bomba.

Para el control cuando el setpoint es menor al nivel real se considera el sistema de control en lazo cerrado como lo indica en el diagrama de bloques de la Figura 3.55a, mientras que cuando el valor de setpoint es mayor se considera el diagrama de bloques de la Figura 3.55b.



a) Diagrama de bloque cuando setpoint es menor que nivel real



b) Diagrama de bloque cuando setpoint es mayor que nivel real

Figura 3.55 Diagramas de Bloques del Sistema de Control

El funcionamiento de la red CONTROL se detalla a continuación:

Se recibe la señal del modo de control seleccionado en este caso AUTOMÁTICO se registra en la memoria % M27 realiza una histéresis para los rangos de funcionamiento; compara el set point con la medida de nivel de la entrada % I W 1.0 para realizar el control sobre o bajo el set point seleccionado y guardado en la memoria % M W 0; si detecta que el nivel está debajo del set point seleccionado se dirige a la red del control ON/OFF de la bomba % Q 0.3 (Salida 2 A a relé); si detecta un nivel sobre el set point seteado lo envía a la red de control del actuador de la válvula cuya salida se encuentra en la dirección % Q W 0.1.0.

El cálculo del error se lo realiza con la instrucción DIF la que resta a la fuente A (nivel) el valor de la fuente B (setpoint) y ubica el resultado en un registro de destino memoria % M W 10. El valor del error corresponde a un número



negativo o positivo lo que indica que se debe encender la bomba o abrir la servoválvula respectivamente.

Para determinar la señal de salida a la servoválvula se usa la ecuación de una acción proporcional de un controlador PID discretizado por métodos de integración numérica. Ecuación 3.3

$$U(k) = Kp (ek - ek - 1) + Uk - 1$$

Ec3.3

U (k) Salida del controlador

ek Error actuante

ek-1 Error anterior

Uk-1 Salida anterior

La ecuación 3.3 permite determinar la salida al controlador (servoválvula) para una señal de error actuante. Para la ecuación 3.4 se calcula el Kp en base a los datos obtenidos del método de prueba y error

$$U(k) = Kp (ek - ek_{-1}) + Uk_{-1}$$

Ec3.4

La ecuación 3.4 es implementada en el PLC y la salida es almacenada en el registro % Q W 0.1.0 para ser utilizada por la sección SERVOVÁLVULA en el modo AUTOMÁTICO.

Cuando el valor del error es negativo se establece el encendido de la bomba hasta que el valor de nivel en el tanque esté dentro de un ancho de banda establecido. Figura 3.56.

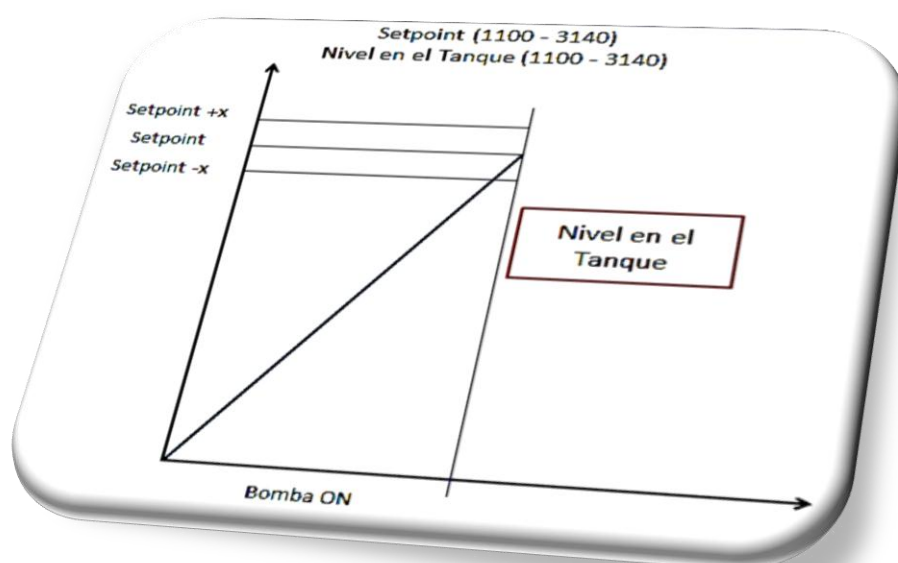


Figura 3.56 Gráfica del ancho de banda utilizado para control de nivel cuando el error actuante es negativo

El programa completo del PLC se encuentra en el Anexo 3.1.

## **CAPITULO 4**

# **PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO**

## **CAPITULO 4**

### **4 PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL**

#### **4.1 PUESTA EN MARCHA DEL MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL**

El funcionamiento correcto del Módulo de Control de Nivel requiere tanto de una cierta secuencia para su puesta en marcha, como del correcto funcionamiento de cada una de sus partes. Por tal motivo, a continuación se presenta una descripción detallada de los pasos a seguir para iniciar el funcionamiento del módulo, además de la forma en que se realizaron pruebas cuyos resultados permiten determinar las características de funcionamiento de cada uno de los componentes principales y ser usados como referencias para posteriores análisis.

La figura 4.1 muestra el Módulo de Control de Nivel con sus partes constitutivas.

- 1.- Tanque Principal
- 2.- Válvula de Control
- 3.- Válvula de Perturbaciones
- 4.- Tablero de Control
- 5.- Válvula de Paso V2
- 6.- Tubo Visor
- 7.- Bomba
- 8.- Tanque Secundario
- 9.- Válvula de Paso V1
- 10.- Sensor de Presión Diferencial

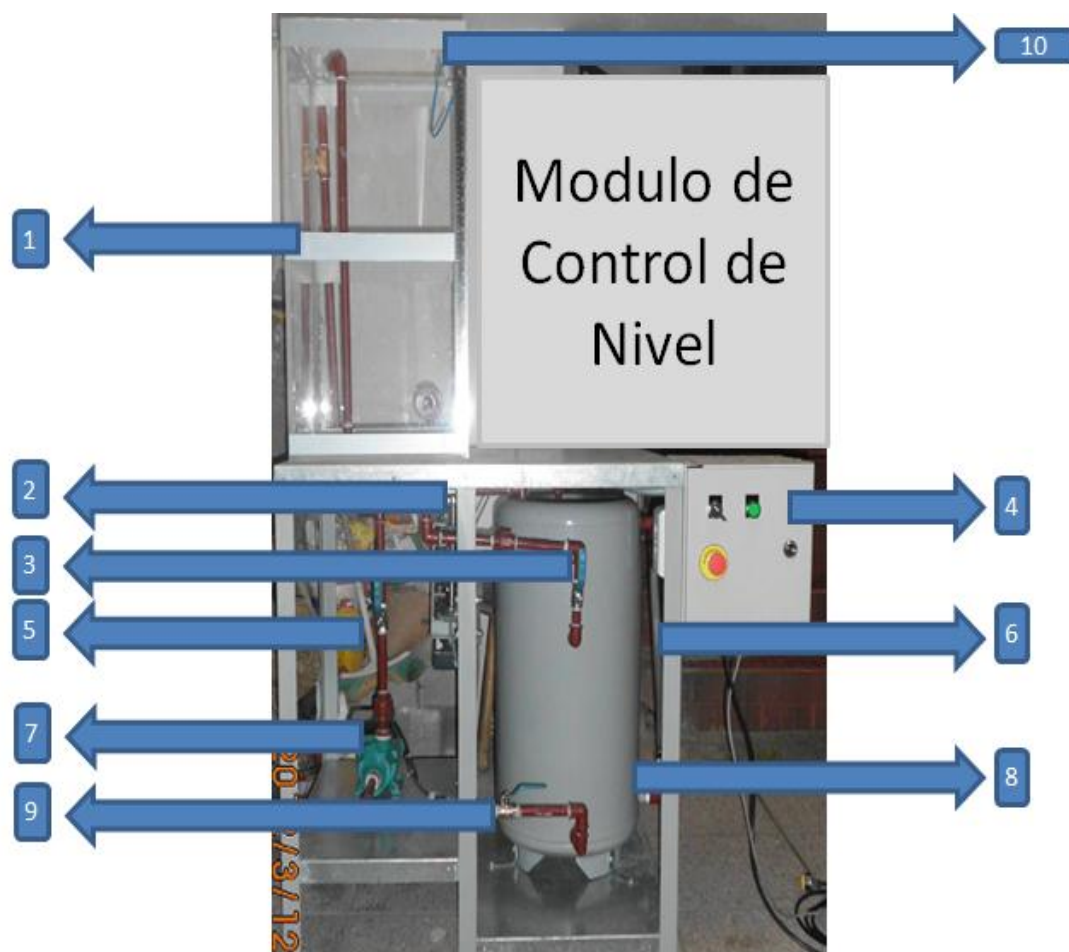


Figura 4.1 Módulo de Control de Nivel

La descripción del tablero de control se muestra en la figura 4.2 con la siguiente nomenclatura

- 7. SP Interruptor Principal
- 8. LP Luz Indicadora Principal
- 9. E1 Paro Principal De Emergencia
- 10.I1 Tomacorriente Externo (110V / 60 Hz)
- 11.DB9 Conector para Comunicación
- 12.I2 Alimentación Principal (110V / 60 Hz)

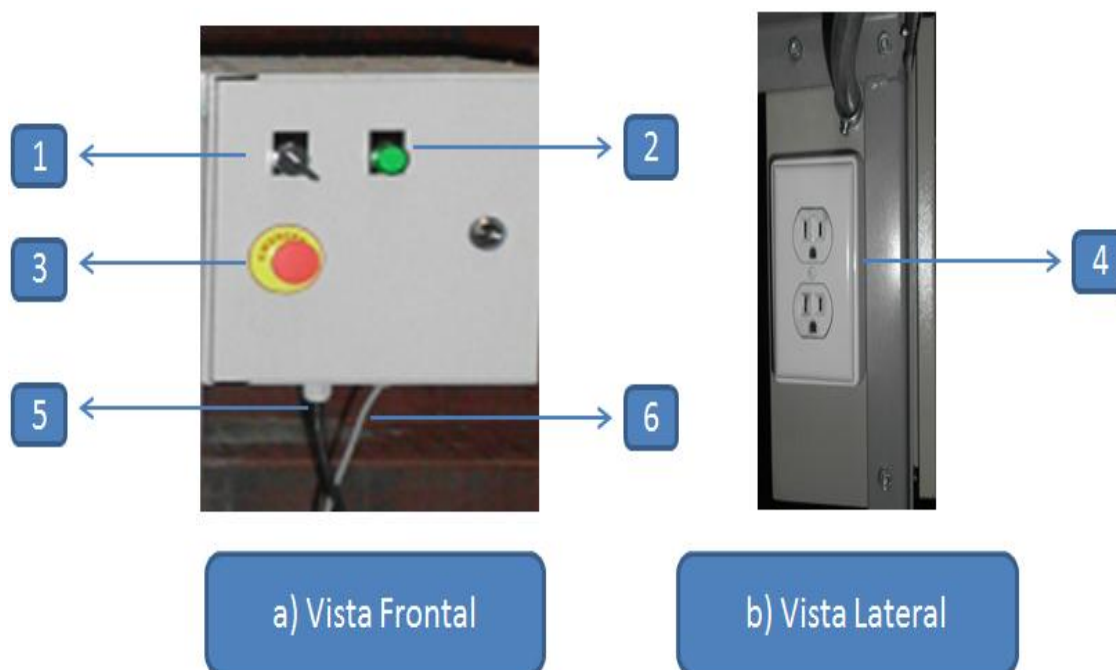


Figura 4.2 Tablero De Control

#### 4.1.1 PROGRAMACIÓN DEL PLC

Previo a la puesta en marcha del sistema se debe descargar el programa correspondiente hacia el PLC. Para este efecto se debe seguir la secuencia que se indica a continuación:

1. Iniciar el programa TWIDO SUITE
2. Conectar el PLC a la fuente de alimentación (24V DC)
3. Conectar el cable de comunicación desde el puerto serial del PC a la terminal de comunicación del PLC ( Figura 4.3 )

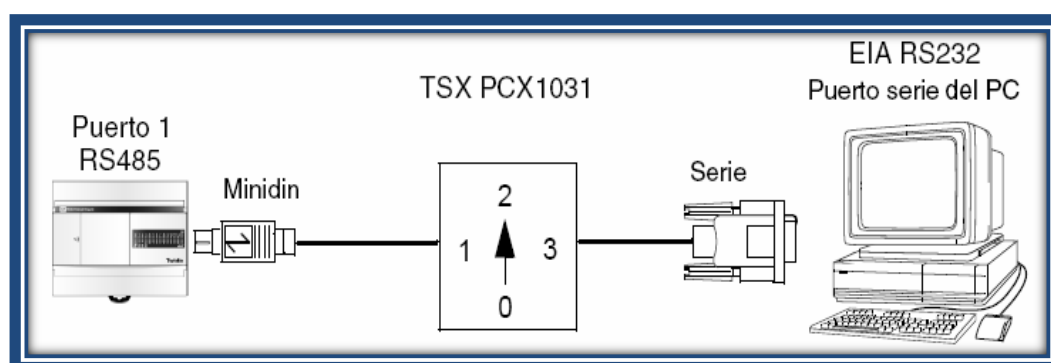


Figura 4.3 Diagrama de conexión del cable de comunicación

Los terminales de conexión (DB9 en el PC y Mini Din 8 en el PLC), y la configuración del cable de comunicación se muestran a continuación en la Figura 4.4

Para conectar el PC al PLC hay que utilizar el cable TSXPCX1031.

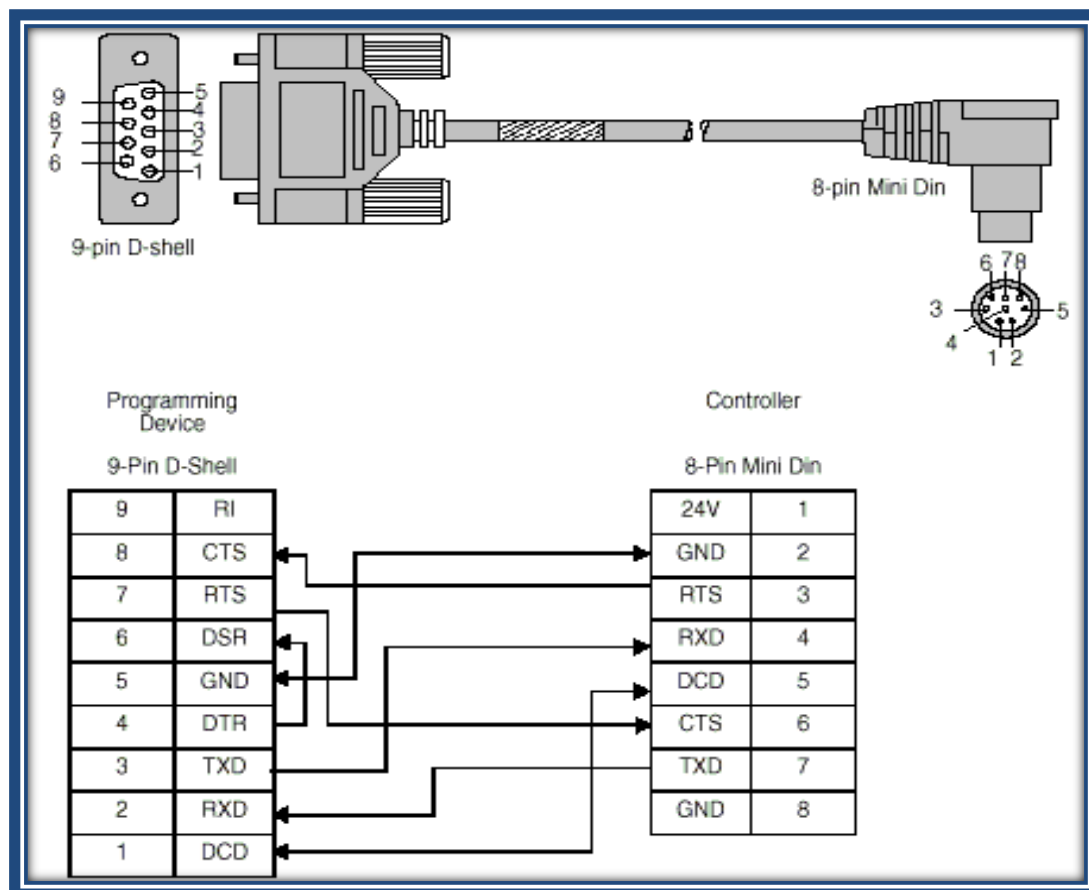


Figura 4.4 Terminales de conexión y configuración del cable de comunicación

4. Abrir el archivo ubicado en el CD adjunto al proyecto de titulación y ubicado en el directorio: E: MODULO DE CONTROL DE NIVEL \ PROYECTO DE TITULACION\_PROGRAMA \ MODULO DE CONTROL DE NIVEL.
5. Hacer click en la siguiente secuencia: Programar - Depurar - Conectar - Establecer Comunicación - Transferir programa PLC Automata.

#### 4.1.2 INSTALACIÓN DEL PLC

En la parte interior del tablero existe un espacio destinado para la ubicación del PLC el que está ubicado en medio de dos regletas de conexión. Figura 4.5



Figura 4.5 Ubicación del PLC en el tablero.

Las regletas de conexión constan con la nomenclatura correspondiente (Tabla 4.1) y que debe ser conectada a los tornillos del PLC con el diagrama de conexión que se muestra en la Figura 4.6

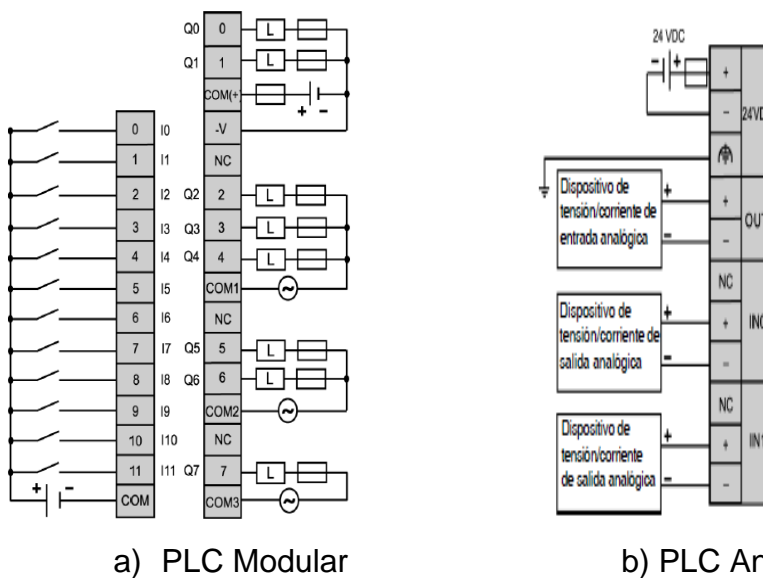


Figura 4.6 Conexiones interiores del PLC en el Tablero de Control



### PLC MODULAR

SIMBOLOGÍA DEL PLC	SIMBOLOGÍA DEL CABLE	DESCRIPCIÓN
I0	I.0.0	Paro de Emergencia
COM	0 VDC	Negativo de la Fuente
Q3	O.0.0	Salida hacia relé de la Bomba
COM1	24 VDC	Fuente salida hacia relé de la Bomba

### PLC ANALÓGICO

SIMBOLOGÍA DEL PLC	SIMBOLOGÍA DEL CABLE	DESCRIPCIÓN
24 VDC	24 VDC	Fuente
0 VDC	0 VDC	Fuente
OUT	Color Azul	Salida hacia el actuador
OUT	24 AC	Fuente salida hacia actuador
IN1	Color Tomate	Variable del Sensor de Nivel
IN1	0 VDC	Fuente salida hacia actuador

Tabla 4.1 Descripción de los cables de conexión en el interior del tablero

#### 4.1.3 PUESTA EN MARCHA DEL MÓDULO

Con el PLC ya programado, montado y cableado correctamente en la parte interior del tablero de control, se puede iniciar el funcionamiento del módulo pero tomando en cuenta que el control, ya sea éste manual o automático, se lo puede realizar únicamente desde el computador (HMI).

Posteriormente se indica el procedimiento para realizar el inicio de comunicación con la interfaz gráfica.

Para poner en marcha el módulo éste debe primero ser alimentado con el respectivo cable de conexión desde la red local (110V / 60Hz) hacia el conector I1 (6) ubicado en la parte inferior del tablero de control (Figura4.2).

A continuación se debe encender el módulo por medio del interruptor principal SP (1), inmediatamente la luz piloto LP (2) se enciende indicando el encendido correcto del módulo.

#### 4.1.4 INICIO DE COMUNICACIÓN PLC-PC

Para iniciar la comunicación entre el PLC y el PC (HMI) se debe seguir la siguiente secuencia:

- Prender el computador.
- Abrir el programa INTOUCH (*ApplicationManager*)
- Descargar el contenido de la carpeta MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL ubicada en el CD adjunto al proyecto de titulación y ubicada en el directorio E:\MÓDULO DE CONTROL DE NIVEL \ PROYECTO DE TITULACION\_PROGRAMA \ Proyecto\_1A .
- Abrir la pestaña *Tools* hacer click en *Find Applications*, buscar la carpeta Proyecto\_1A que se descargó anteriormente y seleccionar la misma.
- En *IntouchApplícation Explorer* cerrar todas las ventanas activas y abrir la ventana PRESENTACIÓN. Para cerrar una ventana se debe hacer click derecho en la ventana y seleccionar la opción *Close*, o al contrario para abrirla seleccionar *Open*. Figura 4.7

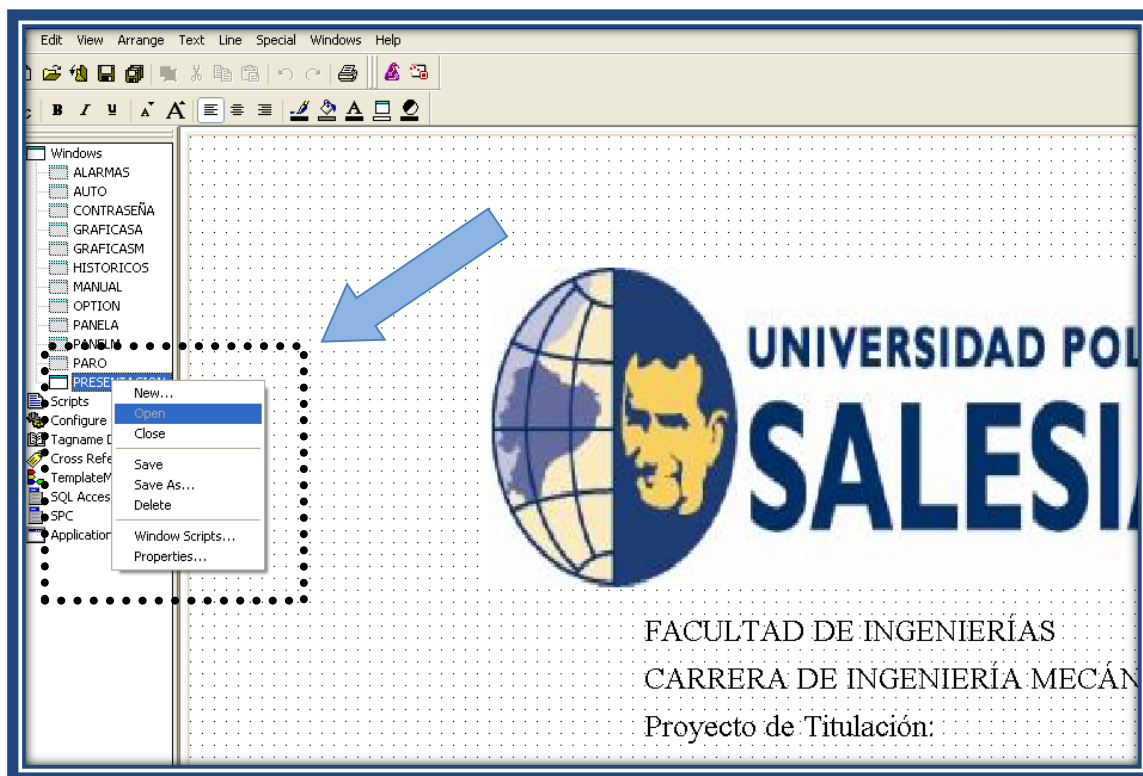


Figura 4.7 Abrir o cerrar ventanas desde *Application Explorer*

- Abrir el programa del I/O Server ModBus configurarlo como se lo indico en el capitulo 3 y activar el puerto y el tópicos (*Information/Reports/ActivePortsand Topics*)
- Seleccionar la opción *Runtime* desde *Intouch Window Viewer* (Figura 4.8)



Figura 4.8 Opción *Runtime* en *Window Viewer*

## 4.2 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Con la finalidad de conocer el comportamiento real de algunos elementos del equipo y comprobar el correcto funcionamiento en los diferentes modos de operación se realizaron las siguientes pruebas.

### 4.2.1 PRUEBAS BOMBA

Uno de los datos de interés es el caudal real de entrada de la bomba el cual determina tiempo de llenado del tanque principal, este tiempo limita la velocidad de respuesta de la planta a acciones del controlador.

Para poder determinar el caudal de entrada real de la bomba al tanque principal se procede a realizar algunas pruebas de llenado del mismo a diferentes alturas. Estas pruebas fueron realizadas en el MODO MANUAL PC, teniendo los resultados que se muestran en la Tabla 4.2.

PRUEBA MANUAL PC	ALTURA (mm)	TIEMPO DE LLENADO (s)
1	100 – 150	31,87
2	150 – 200	63,61
3	200-250	95,81
4	250-300	127,74

Tabla 4.2 Pruebas Bomba

Para cada uno de estos casos se determinó un valor de caudal de entrada considerando el área transversal del tanque constante. Tabla 4.3

MANUAL PC	ALTURA (mm)	TIEMPO (seg)	VOLUMEN (m <sup>3</sup> )	CAUDAL (m <sup>3</sup> /seg.)	CAUDAL (l/min)
1	100 - 150	31.87	0,008	2,51E-04	15.0612
2	150 - 200	63.61	0.016	2,52E-04	15.0918
3	200 - 250	95.81	0.024	2,50E-04	15.03
4	250 - 300	127.74	0.032	2,51E-04	15.0306

Tabla 4.3 Valores de caudal de salida de la bomba

Área Transversal para el cálculo de volumen 0.16 m<sup>2</sup>

Para los valores de caudal de las Tablas 4.3 tenemos un caudal de salida promedio de 15,0534 litros por minuto.

#### 4.2.2 PRUEBAS SENSOR

Como se indicó previamente la salida del sensor de presión diferencial está conectada a la entrada análoga de voltaje del PLC % IW 0.1.0 la que internamente corresponde a una palabra de 16 bits que varía entre 0 - 32767 cuando el voltaje de entrada varía 0-10.5 Vdc. (Ecuación 3.1)

Los valores de voltaje de salida del sensor así como de la palabra digital dentro del PLC, para diferentes niveles del tanque se indican a continuación en la Tabla 4.4

Altura (mm)	Valor decimal de la palabra	Voltaje del sensor (V )
300	3140	3,14
290	2870	2,87
280	2800	2,8
270	2730	2,73
260	2690	2,69
250	2663	2,61
240	2585	2,42
230	2520	2,52
220	2320	2,32
210	2170	2,17
200	2090	2,09
190	1930	1,93
180	1840	1,84
170	1780	1,78
160	1670	1,67
150	1580	1,58
140	1420	1,42
130	1340	1,34
120	1280	1,28
110	1210	1,21
100	1160	1,16

Tabla 4.4 Respuesta del sensor de presión diferencial

Graficando los datos de voltajes de salida del sensor para los diferentes niveles en el tanque tenemos.

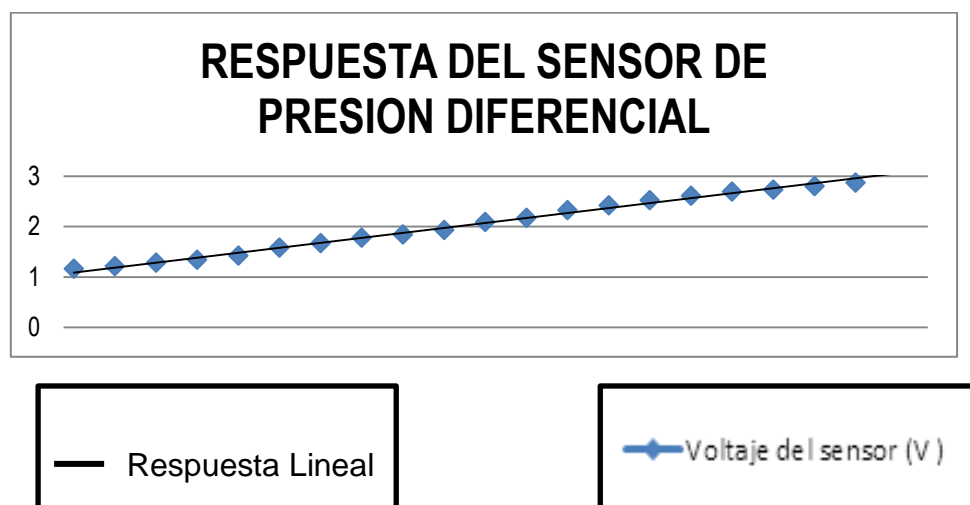


Figura 4.9 Respuesta del Sensor

Se puede apreciar que la respuesta del sensor es lineal para los diferentes niveles de líquido en el tanque.

Debido a que la transmisión del dato del nivel del líquido del PLC hacia el INTOUCH se lo realiza por medio de una palabra digital, es necesario para su correcta visualización un escalamiento, el mismo que se lo realiza en INTOUCH y cuyo procedimiento se lo muestra a continuación.

El valor decimal de la palabra digital para el nivel máximo (300 mm) es 3140 mientras que para el valor mínimo (100 mm) es 1160. Sabiendo que la respuesta del sensor es lineal, para determinar el valor del nivel y conociendo el valor decimal de la palabra es necesario realizar un escalamiento, INTOUCH permite realizar directamente el escalamiento de la palabra decimal a unidades de ingeniería (centímetro), para ello el momento de definir el tagname de comunicación que toma el valor de la palabra decimal que representa el voltaje de salida del sensor y por lo tanto el nivel, se debe señalar el tipo de escalamiento deseado y los puntos extremos de conversión. Figura 4.10

The screenshot shows the 'Tagname Dictionary' dialog box with the 'Details' tab selected. The configuration for the tag 'NIVELM' is as follows:

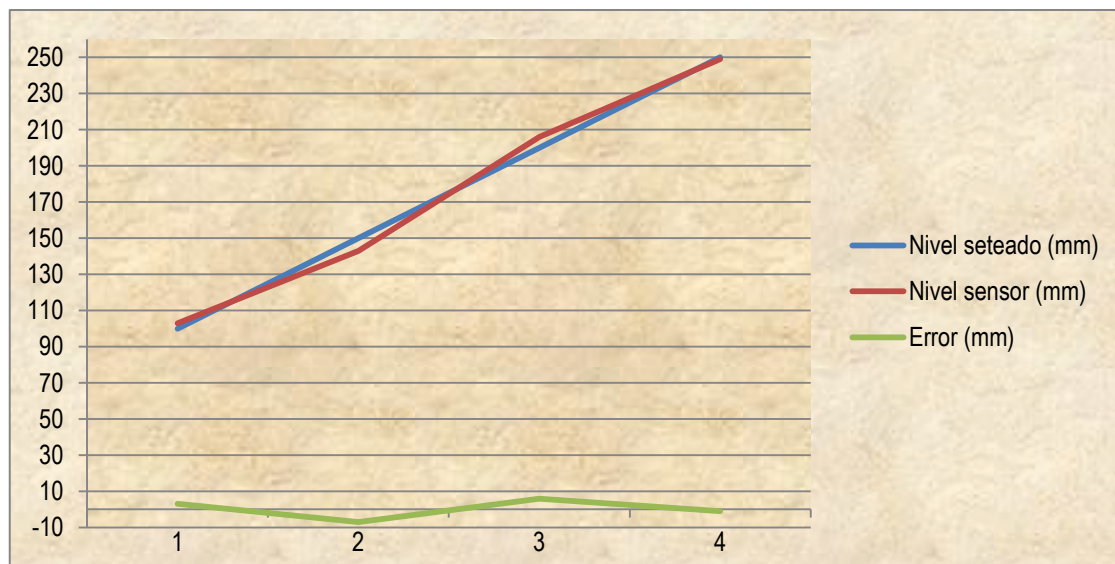
- Tagname:** NIVELM
- Type:** I/O Integer
- Group:** \$System
- Read/Write:** Read Write (selected)
- Comment:** (empty)
- Log Data:** checked
- Log Events:** unchecked
- Retentive Value:** unchecked
- Retentive Parameters:** unchecked
- Initial Value:** 100
- Min EU:** 100
- Max EU:** 300
- Deadband:** 0
- Min Raw:** 1000
- Max Raw:** 2800
- Eng Units:** (empty)
- Log Deadband:** 0
- Conversion:** Linear (selected), Square Root (unchecked)
- Access Name:** TWIDO
- Item:** 40002
- Use Tagname as Item Name:** unchecked

Figura 4.10 *Tagname Dictionary* con la configuración del tagname para visualizar el nivel

Los datos de las pruebas realizadas para visualizar el valor del nivel en INTOUCH y compararlos con los datos reales de nivel detectados en el tanque a fin de determinar el error, se muestran en e la Tabla 4.5

Nivel seteado (mm)	Nivel sensor (mm)	Error (mm)
250	249	-1
200	206	6
150	143	-7
100	103	3

Tabla 4.5 Error de lectura entre el nivel seteado y el mostrado en INTOUCH



### 4.2.3 PRUEBAS VÁLVULA DE CONTROL

Para determinar el funcionamiento correcto de la válvula de control se realizó dos tipos de pruebas.

La primera que sirvió para determinar el posicionamiento correcto del vástago en función de la señal de control en el actuador. Y la segunda para establecer el efecto que provoca la válvula en el caudal de salida del tanque.

#### 4.2.3.1 Pruebas de Posicionamiento del vástago

La prueba consiste en asignar diferentes porcentajes de apertura a la válvula desde el modo MANUAL - PC y compararlo con el porcentaje de apertura real visualizado en INTOUCH.

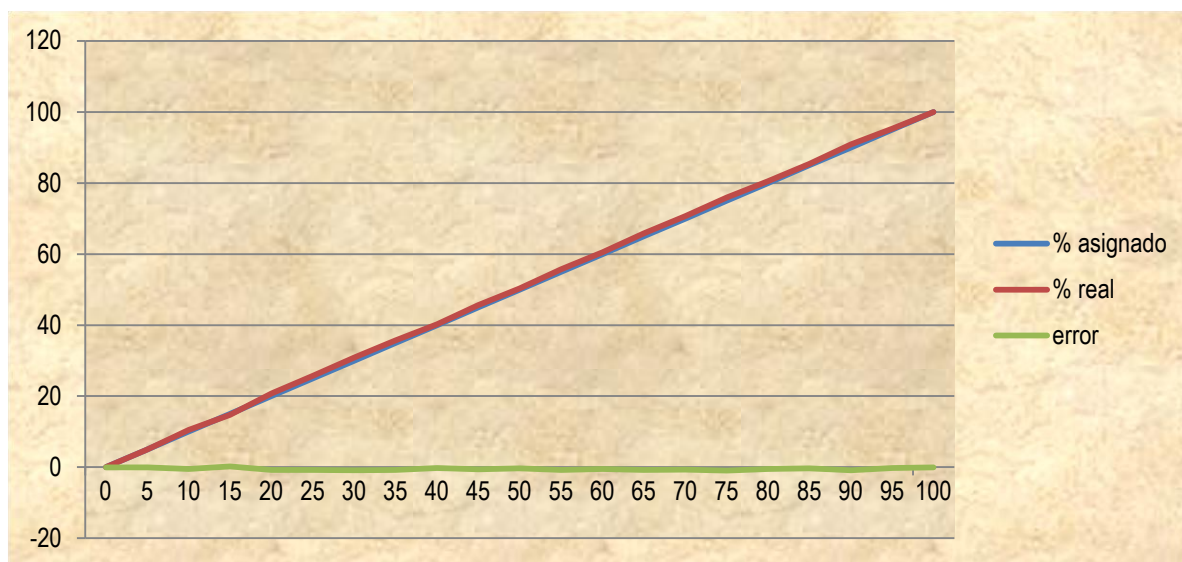
Para la visualización del porcentaje de apertura de la válvula de control se procede de igual manera que en la visualización del nivel a diferencia que en este caso la variación del 0 al 100 % de apertura corresponde a una variación de la palabra decimal de 0 a 32767.

Los resultados de esta prueba son mostrados en la Tabla 4.6



% asignado	% real	error
0	0.08	-0.08
5	5.01	-0.01
10	10.53	-0.53
15	14.74	0.26
20	20.79	-0.79
25	25.74	-0.74
30	30.86	-0.86
35	35.73	-0.73
40	40.25	-0.25
45	45.62	-0.62
50	50.28	-0.28
55	55.73	-0.73
60	60.48	-0.48
65	65.79	-0.79
70	70.65	-0.65
75	75.94	-0.94
80	80.49	-0.49
85	85.36	-0.36
90	90.89	-0.89
95	95.25	-0.25
100	99.99	-0.01

Tabla 4.6 Valores de la prueba de posicionamiento del vástago



#### 4.2.3.2 Pruebas de caudal de salida en la válvula

Esta prueba se la realizó con el objetivo de determinar la característica dinámica de la válvula de control. Se la efectuó desde el modo de funcionamiento MANUAL PC.

La prueba consistió en llenar el tanque con diferentes volúmenes de agua y luego determinar el tiempo de vaciado con diferentes porcentajes de apertura de la válvula para obtener datos que permiten hacer una estimación del caudal de salida.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

- **Nivel 150 - 100 mm**
- ( $V = l * l * b = 400 \text{ mm} * 400 \text{ mm} * 50 \text{ mm} = 0.008 \text{ m}^3$ )

% de apertura	Tiempo de vaciado (seg.)
50	143
75	81
100	75

Tabla 4.7 a Tiempos de vaciado para una altura de 150 mm – 100mm

- **Nivel 200 mm – 150 mm**
- ( $V = 0.008 \text{ m}^3$ )

% de apertura	Tiempo de vaciado (seg.)
50	131
75	76
100	70

Tabla 4.7 b Tiempos de vaciado para una altura de 200 mm – 150 mm

- **Nivel 250 mm – 200 mm**
- ( $V = 0.008 \text{ m}^3$ )

% de apertura	Tiempo de vaciado (seg.)
50	124
75	71
100	66

Tabla 4.7 c Tiempos de vaciado para una altura de 250 mm – 200 mm

- Nivel 300 mm – 250 mm
- ( $V = 0.008 \text{ m}^3$ )

% de apertura	Tiempo de vaciado (seg.)
50	115
75	68
100	68

Tabla 4.7 d Tiempos de vaciado para una altura de 300 mm – 250 mm

Tabla 4.7 Resultados de los tiempos de vaciado del tanque

La característica dinámica de la válvula se la determina de manera aproximada a la siguiente manera:

- Se seleccionó un porcentaje de apertura de la válvula de control
- Para la apertura seleccionada se toman los diferentes valores de volumen de líquido en el tanque y tiempo de vaciado.
- Se calcula el valor de caudal medio para cada caso

$$(Q \text{ medio} = \text{Volumen} / \text{Tiempo})$$

- Finalmente se calcula el valor de caudal promedio para el porcentaje de apertura seleccionado y se repite el procedimiento para los diferentes porcentajes de apertura ( Ecuación 4.1)

$$Q_{\text{promedio}} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{i\text{medio}}}{n}$$

Ec 4.1

Un ejemplo de cálculo se presenta en el Anexo 4.1

Los resultados de valores de caudales medios y promedios se indican en la Tabla 4.8

PORCENTAJE DE APERTURA DE 50%				
ALTURA (mm)	150 - 100	200 - 150	250 - 200	300 - 250
Q 1 medio (litros / min)	3,357	3,664	3,871	4,174
<b>Q1 promedio ( litros / min) = 3,77</b>				

Tabla 4.8 a Caudales de salida para un porcentaje de 50 %

PORCENTAJE DE APERTURA DE 75%				
ALTURA (mm)	150 - 100	200 - 150	250 - 200	300 - 250
Q 1 medio (litros / min)	5,926	6,316	6,761	7,059
<b>Q1 promedio ( litros / min) = 6,515</b>				

Tabla 4.8 b Caudales de salida para un porcentaje de 75 %

PORCENTAJE DE APERTURA DE 100%				
ALTURA (mm)	150 - 100	200 - 150	250 - 200	300 - 250
Q 1 medio (litros / min)	6,400	6,857	7,273	7,059
<b>Q1 promedio ( litros / min) = 6,897</b>				

Tabla 4.8 c Caudales de salida para un porcentaje de 100 %

Tabla 4.8 Valores de caudales medios y promedios para la estimación del caudal de salida de la válvula de control.

Graficando los tres valores de caudales promedios para las diferentes aperturas obtenemos la característica dinámica aproximada de la válvula. Figura 4.12.

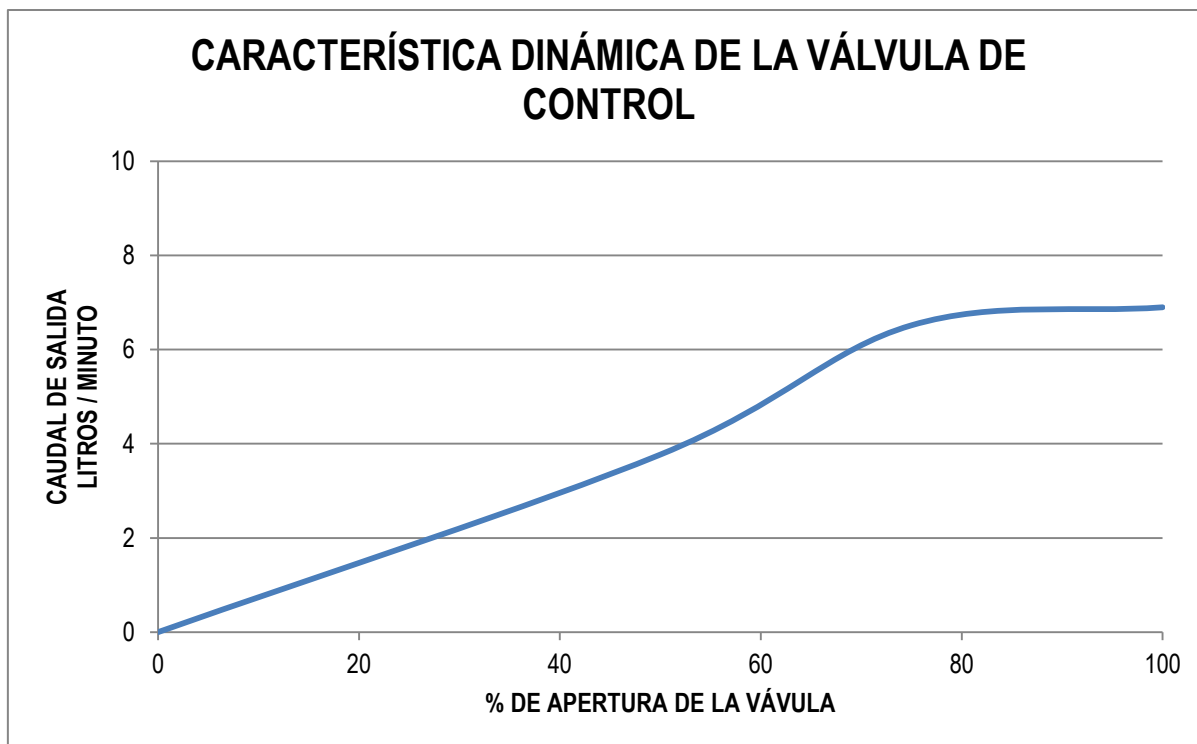


Figura 4.12 Característica dinámica de la válvula control

#### 4.2.4 PRUEBAS MODO AUTOMÁTICO

Las pruebas de funcionamiento en modo automático fueron realizadas desde el computador (HMI).

La prueba consistió en poner distintos valores de setpoint mayores y menores al nivel presente en el tanque para determinar la respuesta del controlador para ambos casos.

Además se presentan las gráficas en tiempo real obtenidas mediante el HMI para una variación del setpoint de 100mm a 400mm y viceversa.

Para iniciar la prueba se selecciona el modo AUTOMÁTICO. Posteriormente se aumenta el valor de setpoint en pasos iguales hasta llegar al nivel máximo.

Los valores de setpoint, nivel alcanzado en el tanque, y error se muestran a continuación en la Tabla 4.9

Cambio en el setpoint (mm)	Nivel en el Sensor (palabra obtenida)	Error
100 - 150	143	-7
150 - 200	207	7
200 - 250	243	-7
250 - 300	301	1

300 - 250	253	3
250 - 200	202	2
200 - 150	158	8
150 - 100	106	6

Tabla 4.9 Resultados de la prueba en modo automático

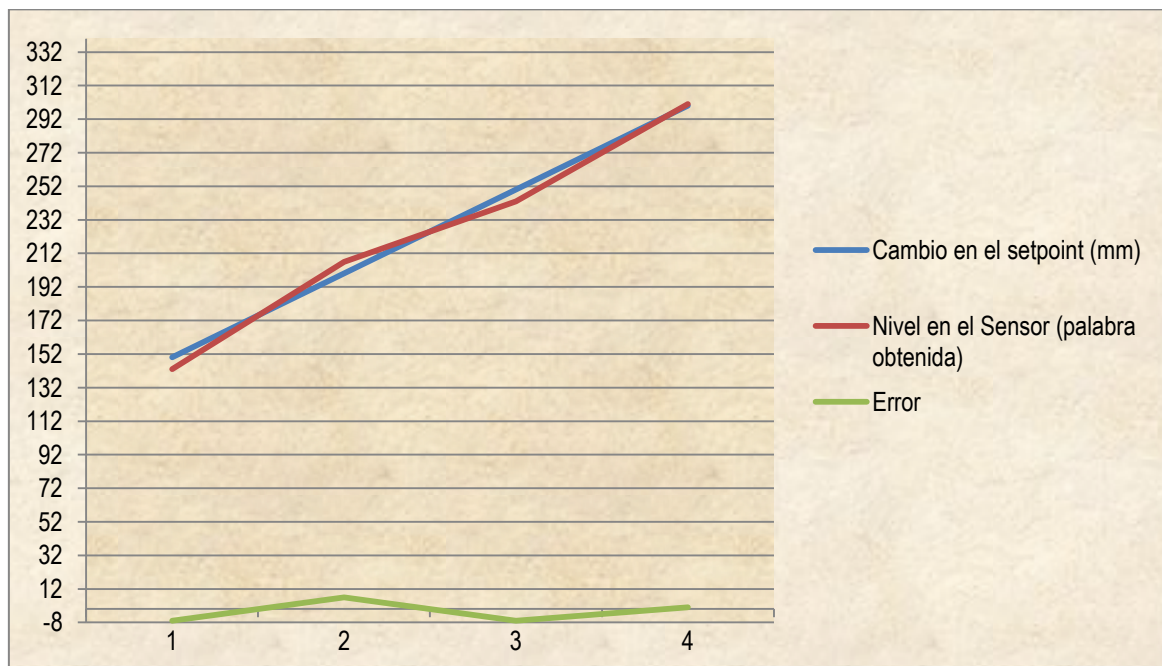


Figura 4.13 Gráfica de la respuesta del sistema para un cambio en el setpoint de 100 a 300 mm.

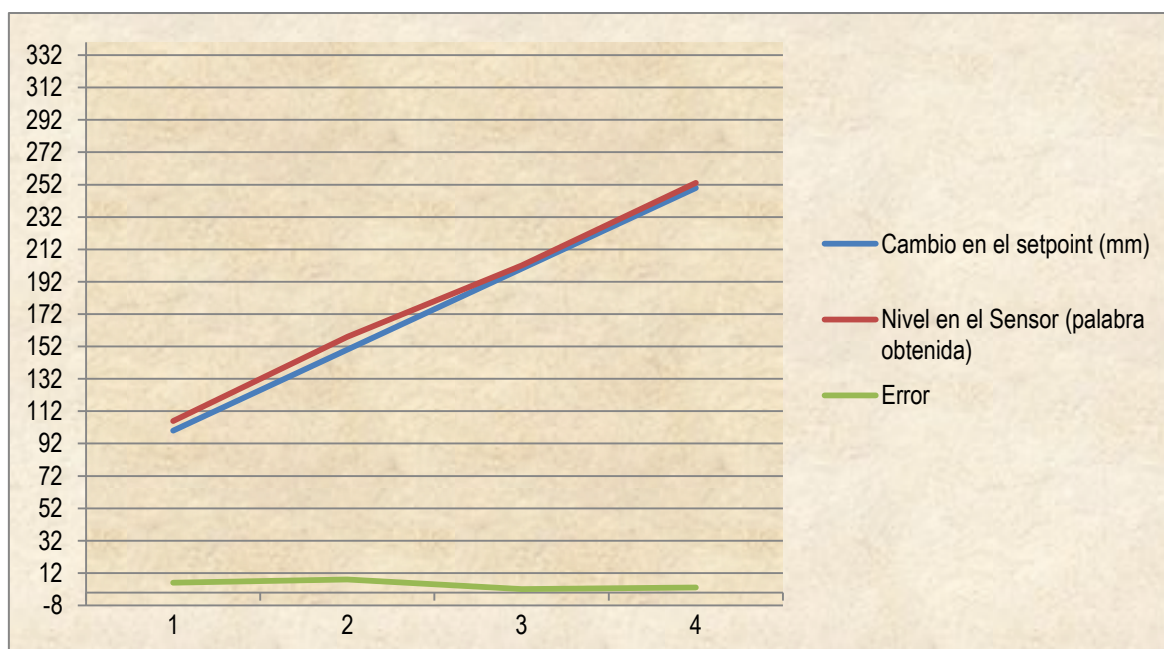


Figura 4.14 Gráfica de la respuesta del sistema para un cambio en el de setpoint de 300 a 100mm.

**CAPITULO 5**

**CONCLUSIONES**

**Y**

**RECOMENDACIONES**



## CAPITULO 5

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- El Módulo de Control de Nivel construido satisface plenamente los objetivos propuestos en el plan de proyecto. El equipo es de fácil manejo y sus elementos constitutivos permiten tener una idea general del funcionamiento de los componentes de un sistema de control.
- Mediante INTOUCH se puede hacer la supervisión y adquisición de datos de cualquier proceso, ya sea este una aplicación didáctica como la desarrollada o un sofisticado proceso industrial. Es muy versátil, de fácil manejo y posee las herramientas necesarias no solo para crear ambientes amigables al usuario sino también para una adecuada presentación y manipulación de los datos obtenidos.
- La acción de control a ser usada en un proceso depende directamente del tipo de respuesta de la planta. La respuesta del Módulo de Control de Nivel se aproxima a la de un sistema de primer orden, por lo tanto la acción proporcional implementada para el controlador es suficiente para obtener resultados satisfactorios con un error en estado estable no mayor a 3mm leídos entre el setpoint y el dato obtenido de la palabra del sensor de nivel.
- El sensor de presión diferencial utilizado para determinar el nivel de líquido en el tanque presenta una característica lineal, estable y con buenos tiempos de respuesta. Esto facilita considerablemente el control de la variable ya que no es necesario realizar una regresión lineal de los datos ni tampoco se tienen tiempos muertos considerables.

- El control de posición desarrollado para la válvula de bola presenta buenos resultados. El posicionamiento de la válvula es controlado en todo el recorrido del vástago y el error en estado estable no es mayor al 2% de porcentaje de apertura de la válvula.
- La programación del PLC usado es sencilla y permite enfocarse en la lógica del programa. Si bien es cierto el uso de señales analógicas incrementa las aplicaciones de los PLC's en sistemas que involucran acciones de control más complejas, se debe tener en cuenta los tiempos de conversión y toma de los datos ya que se podrían tener lecturas incorrectas lo que implica acciones de control no deseadas.
- La obtención de volúmenes de agua por medio de la aplicación desarrollada presenta resultados aceptables. Los errores obtenidos varían directamente con el efecto del peso del volumen del líquido en el tanque, ya que éste afecta al caudal de salida y por ende al volumen desalojado mientras se cierra la válvula.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- El método de medición de nivel usado en este proyecto se recomienda para líquidos no corrosivos y está limitado por la longitud de la columna de líquido, debido a que si se tienen presiones demasiado altas se presenta una compresión del aire contenido en el interior del tubo de vidrio lo que provoca errores en la lectura.
- En vista de que el módulo fue construido con fines didácticos se recomienda la realización de un plan de prácticas a ser realizadas en el laboratorio y que permitan la capacitación del estudiante en el control de procesos.
- Los recursos del PLC pueden ser optimizados con la incorporación de una servoválvula comercial la que requeriría para su funcionamiento

únicamente de una salida analógica. Para así obtener mejores resultados en la respuesta de la servoválvula por ende un mejor control y un mejor manejo de las señales.

- Como un futuro proyecto se recomienda la interconexión en red del módulo con otros equipos ya contruidos, logrando así la implementación de sistemas más complejos para que puedan ser estudiados. La incorporación de un módulo en el que la variable a estudiar sea la temperatura y cuyos datos sean controlados en la red creada en el PLC.
- Se recomienda accionar la bomba periódicamente, al menos una vez por semana para evitar que se trabe el eje por oxidación. Aunque la bomba no es de auto-cebado, no necesita ser cebada ya que por su ubicación siempre hay agua en la tubería. En caso de querer sacar la bomba para mantenimiento se lo puede hacer fácilmente desde los acoples universales.
- El cableado interno del módulo tiene etiquetas que muestran su conexión respectiva, por lo que en caso de desconexión es fácil hallar su lugar. Además los esquemáticos anexados indican las conexiones internas.
- Se debe cambiar el agua de los recipientes al menos una vez por mes para evitar la acumulación de materiales que puedan taponar el tubo visor a través del cual se observa el nivel.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- GREENE, Richard, Válvulas selección, uso y mantenimiento. Mc Graw Hill. México. 1988
- **“VÁLVULAS: INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL”**  
<http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtml>
- CREUS Antonio, Instrumentación Industrial. Alfaomega. México. Quinta Edición. 1995.
- **“CONTROLADORES PROGRAMABLES TWIDO - SCHNEIDER ELECTRIC”**  
[http://www.global-download.schneider-electric.com/85257578007E5C8A/all/4E9CB1347509F7F8882575780062449B/\\$File/31004123k01001.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/85257578007E5C8A/all/4E9CB1347509F7F8882575780062449B/$File/31004123k01001.pdf)
- **“MANUAL TWIDO SUITE”**  
[http://www.adtecnologias.com/Catalogos/Manual\\_Twido.pdf](http://www.adtecnologias.com/Catalogos/Manual_Twido.pdf)
- PERRASO, Luís, Adquisición de datos supervisión y control PID utilizando controladores lógicos programables.
- OGATA, Katsuhiko, “SISTEMAS DE CONTROL EN TIEMPO DISCRETO”. Prentice Hall. Segunda Edición. México. 1995
- WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch User's Guide. Wonderware Corporation . Revisión C, Julio 1999.
- WONDERWARE FACTORY SUITE, Intouch Reference's Guide. Wonderware Corporation . Revisión C, Julio 1999.

- **“Líquido”**  
<http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%ADquido>
- **“Medición de Nivel de Líquidos”**  
<http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/teoria/nivel/nivel1.htm>
- **“Acciones Básicas de Control”**  
<http://www.cucei.udg.mx/~jriviera/Resource/IC/Acciones%20de%20control.ppt>
- **“Introducción a HMI”**  
<http://iaci.unq.edu.ar/materias/laboratorio2/HMI%5CIntroduccion%20HMI.pdf>
- **“DESARROLLO DE SISTEMAS DE REGULACIÓN Y CONTROL, Control PID”**  
[http://www.infoplcn.net/Documentacion/Docu\\_Procesos/infoPLC\\_net\\_ControlPID.html](http://www.infoplcn.net/Documentacion/Docu_Procesos/infoPLC_net_ControlPID.html)
- **GRATTON, J. (2002).** Introducción a La Mecánica De Fluidos. Buenos Aires
- **“MATWEB, MATERIAL PROPERTY DATA”.**  
[\[http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cdefb3a7be6a4fd2ad05cd8597527c21\]](http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cdefb3a7be6a4fd2ad05cd8597527c21)

**ANEXOS:****ANEXO 2.1**

DATOS TÉCNICOS DE LOS PLC'S: PLC MODULAR  
TELEMECANIQUE TWIDO TWDLMDA20DRT Y PLC ANALÓGICO  
TELEMECANIQUE TWIDO TWDAMM3HT.

**ANEXO 2.2**

DATOS TÉCNICOS DEL SENSOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL  
SXC01DN.

**ANEXO 2.3**

CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS BOMBAS.

**ANEXO 2.4**

DATOS TÉCNICOS DE LA VÁLVULA DE BOLA DE DOS PIEZAS DEL  
FABRICANTE CRANE PN25.

**ANEXO 2.5**

CALCULO DIMENSIONAL DE ENGRANAJES.

**ANEXO 2.6**

DATOS TÉCNICOS DEL ACTUADOR.

**ANEXO 2.7**

PLANOS DE LA ESTRUCTURA Y PLANOS ELÉCTRICOS.

**ANEXO 3.1**

PROGRAMA COMPLETO DEL PLC.

**ANEXO 4.1**

CALCULO DE CAUDAL PROMEDIO.